



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

"PROYECTO DE UN DISEÑO DE SISTEMA DE
TIERRAS, EN EL C.P.G. CRIOGENICA REYNOSA V Y VI
(PEMEX)."

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECÁNICO-ELECTRICISTA.

ÁREA: ELÉCTRICA – ELECTRÓNICA

PRESENTA:

ISRAEL REYES FERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS

ING. SERGIO PADILLA ARTEAGA



FES Aragón, Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

*QUIERO DEDICAR ESTE TRABAJO
A LAS PERSONAS QUE HICIERON POSIBLE
MI FORMACIÓN TANTO PROFESIONAL COMO PERSONAL
Y A LAS QUE QUIERO MUCHO
"A MIS PADRES".*

*A MI MADRE "REYNA FERNÁNDEZ RAMÍREZ"
QUE SIEMPRE CREYÓ EN MI Y TODO EL
TIEMPO SIEMPRE ESTUVO A MI LADO,
DÁNDOME CONSEJOS Y ALENTÁNDOME
A QUE ME ESFORZARA CADA DÍA MAS.*

*MUCHAS GRACIAS MAMÁ, YA QUE SIN TU
AYUDA NO HUBIERA SIDO POSIBLE LLEGAR
HASTA DONDE ESTOY; EL VERDADERO
TITULO DEBERÍA SER PARA TI.
TE QUIERO MUCHO.*

*A MI PADRE "FRANCISCO REYES CAPETILLO"
QUE SIEMPRE ME APOYO EN TODAS LAS
DECISIONES QUE TOMARA, YA QUE SIEMPRE
CONTABA CON SU APOYO.*

*MUCHAS GRACIAS PAPÁ, POR TODOS TUS
SACRIFICIOS QUE REALIZASTE EN TU TRABAJO
PARA QUE YO PUDIERA ESTUDIAR, POR ENSEÑARME
LO QUE ES LA HONESTIDAD, EL COMPROMISO HACIA
MI FAMILIA, POR SER UNA GUÍA Y UN EJEMPLO A SEGUIR
EN MI VIDA. ESTE LOGRO TAMBIÉN ES TUYO.
TE QUIERO MUCHO.*

*ISRAEL REYES FERNÁNDEZ
FEBRERO 2018*

AGRADECIMIENTOS

QUIERO AGRADECERLE A TODAS LAS PERSONAS QUE ESTÁN Y ESTUVIERON SIEMPRE APOYÁNDOME EN ESTE LARGO Y CORTO CAMINO DE MI FORMACIÓN PROFESIONAL, EN ESPECIAL A:

MIS PADRES;

*"REYNA FERNANDEZ RAMIREZ" Y "FRANCISCO REYES CAPETILLO"
POR UNA VIDA DE ENSEÑANZA, CONSEJOS, REGAÑOS, ESFUERZO
Y SACRIFICIO QUE ME DIERON.*

MI ESPOSA;

*"LAURA ELVIA AGUILAR MUÑOZ", POR SU APOYO, CARIÑO,
AMOR, PACIENCIA Y ADEMÁS POR SU AGRADABLE COMPAÑÍA.
TE AMO.*

MIS HIJOS;

*"LAURA ESTRELLA REYES AGUILAR" Y "DYLAN ISRAEL REYES AGUILAR"
QUE SON EL MOTIVO PARA LEVANTARME EN LAS MAÑANAS,
ADEMÁS QUE SON LO MEJOR QUE ME PUDO HABER
PASADO EN LA VIDA. ESPERO QUE CUMPLAN SUS SUEÑOS.
LOS QUIERO MUCHO.*

MIS HERMANAS;

*"JESSICA REYES FERNÁNDEZ" Y "JACQUELINE REYES FERNÁNDEZ"
POR EL APOYO QUE TENGO EN ELLAS.*

TODA MI FAMILIA EN GENERAL;

QUE SIEMPRE ESTA UNIDA EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS.

A MI ASESOR;

*"ING. SERGIO PADILLA ARTEAGA"
POR SU VALIOSO TIEMPO QUE LE INVIRTIÓ EN ESTE TRABAJO, POR COMPARTIR
SU EXPERIENCIA Y POR SUS GRANDES CONSEJOS QUE ME LLEVARON
A FINALIZAR UN PASO MÁS EN MI FORMACIÓN PROFESIONAL.*

*A DIOS; POR DARME LA VIDA Y PERMITIRME SE PARTE
DE UNA FAMILIA MARAVILLOSA.*

*ISRAEL REYES FERNÁNDEZ
FEBRERO 2018*

INDICE

INTRODUCCIÓN.	1
CAPITULO 1. FUNCIONES Y COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TIERRAS.	3
1.1 Generalidades.	3
1.2 Elementos básicos de un sistema de tierra.	3
1.3 Materiales para conectores y electrodos.	5
1.4 Características del sistema de tierras.	6
1.5 Diferencia entre el hilo de tierras y el neutro.	6
CAPITULO 2. ANALISIS Y CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE TIERRAS.	9
2.1 Resistividad del terreno definiciones y unidades.	9
2.2 Características y tipos de suelo.	10
2.3 Efecto de gradiente de voltaje.	10
2.4 Efecto de la magnitud de la corriente.	11
2.5 Efecto de la humedad, temperatura y contenido químico sobre la resistividad del suelo.	11
2.6 Técnicas de medición.	12
2.7 Disposiciones básicas de las redes de tierra.	16
2.8 Corrientes máxima de la falla a tierra, análisis de fallas, división de Corriente y asimetría.	19
2.8.1 Determinación de la corriente máxima de la malla	19
2.8.2 Corriente simétrica de la malla.	19
2.8.3 Corriente máxima de la malla.	19
2.8.4 Efecto de asimetría, factor de decremento.	20
2.8.5 Factor de decremento “D”.	22
2.8.6 Tipos de falla a tierra.	23
2.8.7 Efecto de la resistencia a tierra de la malla.	24

2.8.8	Resistencia a tierra.	26
2.9	Cálculos simplificados.	26
2.9.1	Formula de Schwarz.	27
2.10	Cálculos de potenciales tolerables por el cuerpo humano.	30
2.10.1	Efecto de la capa de roca triturada en la superficie de la Subestación.	33
2.10.2	Potencial de paso tolerable.	36
2.10.3	Potencial de contacto tolerable.	36
2.11	Calculo de la sección del conductor.	38
2.11.1	Calibre y diámetro de conductores.	40
2.11.2	Limitaciones en el empleo de las ecuaciones.	43
2.11.3	Longitud mínima de conductor en la malla.	43
2.12	Procedimiento de diseño.	43
CAPITULO 3. EJEMPLO PRÁCTICO DE UN SISTEMA DE TIERRA.		49
CAPITULO 4. DISEÑO Y MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE TIERRAS DEL PROYECTO C.P.G. CRIOGÉNICA V Y VI, REYNOSA.		61
4.1	Objetivo del proyecto.	62
4.2	Alcance del proyecto.	62
4.3	Descripción general.	63
4.4	Subestaciones eléctricas.	63
4.5	Normas y especificaciones.	63
4.6	Diseño del sistema de tierras.	64
4.6.1	Sistema de tierras.	64
4.6.2	NRF-048-PEMEX-2003.	65
4.6.3	NRF-CFE.	68
4.7.	Diagrama unifilar.	69

4.8.	Área de proyecto.	69
4.9.	Corto circuito y tierras ETAP.	70
4.10.	Resistividad del terreno.	76
4.11.	Procedimientos de cálculos.	79
	4.11.1. Cálculos de selección del conductor.	80
	4.11.2. Cálculos de resistividad promedio.	82
	4.11.3. Calculo de la longitud mínima del conductor.	83
	4.11.4. Verificación de la resistencia de la red.	84
	4.11.5. Resultados.	86
	4.11.6. Anexos cálculos de software.	87
4.12.	Desarrollo de ingeniería de detalle del sistema de tierras.	94
4.13.	Instalación física del sistema de tierras.	116
	4.13.1. Proceso.	116
	4.13.2. Equipo de prueba.	116
	4.13.3. Método de prueba.	116
	4.13.4. Medición de la continuidad y resistencia de la red de tierras.	117
4.14.	REPORTE FOTOGRAFICO.	119
4.16.	ANEXOS.	
	PLANO “DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL”.	125
	PLANO “AREA GENERAL, PROYECTO CRIOGENICA 5 Y6”.	127
	PLANO “PLANO LLAVE SE-2”.	129
	PLANO “RED DE TIERRAS, PLANTA BAJA SE-2”.	131
	PLANO “RED DE TIERRAS, PLANTA ALTA SE-2”.	133
	PLANO “SIMBOLOGIA Y NOTAS GENERALES”.	135
	PLANO “ARREGLO DE EQUIPO SE-2”.	137
	CONCLUSIONES	139
	BIBLIOGRAFIA	141

INTRODUCCIÓN

En el diseño y proyectos de instalaciones destinadas al suministro eléctrico o a la utilización de la energía eléctrica, una de las mayores preocupaciones de los ingenieros de diseño ha sido como conectar a tierra los equipos eléctricos de una manera segura y apropiada.

Este problema existe en todos los campos de ingeniería eléctrica, desde las bajas corrientes a tierra de los equipos electrónicos, hasta las altas corrientes a tierra de las grandes subestaciones en extra alta tensión.

A causa de las altas corrientes de falla disponibles hoy en día, es esencial un buen sistema de tierras en todas las partes del sistema eléctrico, ya sea en subestaciones, líneas de transmisión o distribución o en equipo de baja tensión.

En las subestaciones eléctricas, uno de los aspectos principales para la protección contra sobre tensiones, ya sea de origen interno o externo, es el de disponer de un adecuado sistema de tierras al cual se conectan los neutros de los equipos eléctricos y todas aquellas partes metálicas que deben de estar potencial de tierra.

El mayor debate siempre ha sido el saber Si se pone a tierra o No se ponen a tierra los sistemas eléctricos, ya que como en todo sistema eléctrico donde existen más de una conexión a tierra existirán problemas debido a que no hay un control sobre las corrientes que fluyen en el terreno.

Durante las dos últimas décadas, el desarrollo y aplicación de modelos y técnicas de evaluación para los estudios de sistemas eléctricos de potencia han mejorado considerablemente este ha sido el principal objetivo de muchas publicaciones.

Uno de estos estudios es el diseño de sistemas de tierra para las subestaciones eléctricas. Si bien la necesidad de un adecuado diseño del sistema de tierra ha sido reconocido por muchos años, los criterios normalizados de diseño fueron establecidos en 1961 de la norma AIEE std 80 (Guide for Safety in AC Substation Grounding, del American Institute of Electrical Engineers)

Desde esa fecha se han publicado muchos trabajos que han mejorado los criterios de diseño y han desarrollado mejores métodos de análisis para determinar la eficacia de los sistemas de tierra.

Fue en 1976, cuando aparece la edición de la Norma IEEE std 80 (Institute of Electrical and Electronics Engineers), conteniendo solo algunos cambios de la edición anterior, siendo el principal, la revisión de un valor más estricto para la corriente permisible en el cuerpo humano.

Hoy en día tanto en México como en el resto del mundo las compañías suministradoras de energía toman como referencia lo indicado en esa norma o estándar, como una guía para diseñar el sistema de tierras, dando cada ingeniero su propio juicio e interpretación de diseño. Lo que lo hace al diseño de tierras un sistema relativamente nuevo y/o desconocido al No ser homologado aun estos tiempos

El objetivo fundamental de este trabajo es:

- a) Proporcionar una versión condensada para el cálculo del sistema de tierras.
- b) Ser una guía con criterios de diseño para la ejecución de un sistema de tierras.
- c) Ilustrar físicamente Materiales, componentes y equipos de medición básicos del diseño y de campo, para la aprobación de este sistema tan crítico como es el sistema de tierra.

CAPITULO 1. FUNCIONES Y COMPONENTES DEL SISTEMA DE TIERRAS

1.1. Generalidades

El sistema de tierra se define como: “Un conjunto de conductores, electrodos, conectores, interconectados eficazmente entre sí, con el propósito de conectar a tierra las cubiertas y otras parte de equipo metálicas de los equipos eléctricos que lo requieran, manteniendo al mismo tiempo una superficie equipotencial a su alrededor”.

El objetivo de los sistemas de tierra es el dispersar en el terreno (suelo o subsuelo), las corrientes eléctricas con características nocivas y reducirlas a un potencial que tienda al valor cero con la cual se disminuyen o evitan los daños al personal y al equipo.

La conexión correcta a tierra de todo sistema eléctrico, es un factor de suma importancia para la seguridad tanto personal como del equipo eléctrico en sí.

El propósito que se persigue con la existencia de los sistemas de tierra en las instalaciones industriales ó las principales funciones que debe cubrir un sistema de tierra son:

- 1.- Proveer un medio seguro para proteger al personal en la proximidad de sistemas o equipos conectados a tierra, de los peligros de una descarga eléctrica bajo condiciones de falla.
- 2.- Diseñar un medio para disipar las corrientes eléctricas a tierra, sin que se excedan los límites de operación de los equipos.
- 3.- Proporcionar una conexión a tierra para el punto neutro de los equipos que así lo requieran (transformadores, reactores, etc.).
- 4.- Instalar un medio de descarga y des energización de equipos antes de proceder a tareas de mantenimiento.
- 5.- Facilitar mediante la operación de relevadores y otros dispositivos de protección, la eliminación de fallas a tierra en el sistema.

1.2. Elementos básicos de un sistema de tierra

Puesto que un sistema de tierra debe de proporcionar un medio seguro para drenar las corrientes de falla a tierra, es necesario que durante el diseño e instalación se seleccionen los materiales cuyas características garanticen este objetivo.

El sistema de tierras de una subestación se integra con los siguientes elementos:

- Conductores

Conductor que se utiliza para enlazar el electrodo de tierra con las carcasas de los equipos y demás instalaciones expuestas a corrientes nocivas.

Sirven para formar el sistema de tierra y para la conexión a tierra de los equipos.

Deben de ser conductores desnudos de cobre, con un contenido de pureza de 99.9%, el cableado concéntrico, temple semiduro, clase B. (ver Fig. 1.1).



Fig. 1.1 Cable desnudo para tierras

- **Varillas o Electrodo de tierra**

Elemento del sistema de tierra que se encuentra en íntimo contacto con el suelo (enterrado) y sirve para descargar al terreno las corrientes eléctricas nocivas manteniendo un potencial de tierra en todos los conductores y elementos conectados a él. (Ver Fig. 1.2).

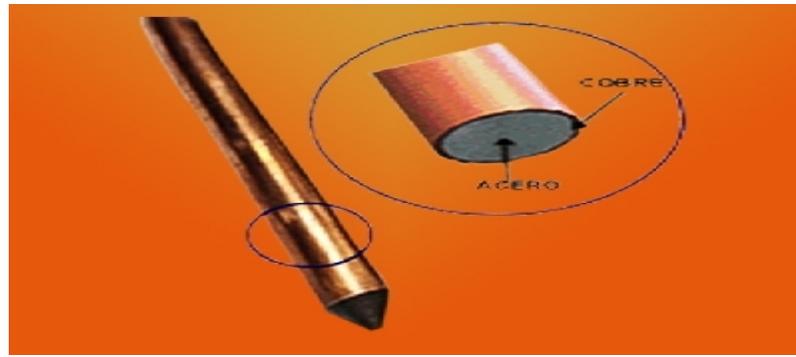


Fig. 1.2 Varilla COPPERWELD

- **Conectores**

Elementos de unión entre los conductores y las varillas de tierra. (Ver Fig. 1.3).



Fig. 1.3 Conectores

1.3. Material para conectores y electrodos

Los conductores empleados en los sistemas de tierra son generalmente cables concéntricos formados por varios hilos y los materiales empleados en su fabricación son el cobre, cobre estañado, copperweld (acero recubierto con cobre), acero, acero inoxidable, acero galvanizado o aluminio.

El factor principal en la selección del material es la característica de corrosión que presente al estar enterrado.

El cobre es la selección más común para los conductores, ya que es económico y tiene buena conductividad, además de ser resistente a la corrosión y a la fusión.

El calibre de los conductores, como se verá más adelante es determinado por requerimientos de conducción de corriente eléctrica de acuerdo a las normas.

Varillas o Electrodo de tierra

Estos elementos se introducen en el terreno y sirven para encontrar zonas más húmedas y por lo tanto con menor resistividad eléctrica en el subsuelo.

Los materiales empleados en la fabricación de varillas o electrodos de tierra son generalmente el acero inoxidable y copperweld (En otras palabras deben de ser de acero con recubrimiento de cobre), el espesor del recubrimiento de cobre debe de ser como mínimo de 254 μm (10 milésimas de pulgada), el diámetro de la varilla mínimo de 16 mm y la longitud mínima de 2.4 m y 3 m. Uno de los extremos debe de terminar en punta (puede ser afilada, chata etc., con que se vea el desvanecimiento en el final es más que suficiente).

Como en los conductores, la selección de materiales dependerá de las características de corrosión que presenten al estar enterrados.

El copperweld es el material más empleado en varillas de tierra ya que combina las ventajas del cobre con alta resistencia mecánica del acero, tiene buena conductividad, resistencia a la corrosión y buena resistencia mecánica para ser introducida en el terreno.

El diámetro y longitud de las varillas o electrodos, se determinara por resistencia mecánica y por las características de resistencia eléctrica que presenten al estar enterrados.

Por lo cual deben de estar aprobados por la norma UL 467, y con un tiempo de vida mínimo de 30 años.

Conectores o Juntas

Son elementos que nos sirven para unir los conductores del sistema de tierra, para conectar las varillas a los conductores y para la conexión de los equipos al sistema de tierras.

Los conectores utilizados en los sistemas de tierra son generalmente de 3 tipos:

- a) Conectores a presión
- b) Conectores soldables
- c) Conectores mecánicos (atornillables)

Los conectores a presión, son todos aquellos que mediante presión mantienen en contacto a los conductores.

En este tipo están comprendidos los conectores atornillados y los de compresión.

Los conectores atornillados, son aquellos que se fabrican formando dos piezas que se unen por medio de tornillos. El material del conector es de bronce con alto contenido de cobre y el de los tornillos es de bronce con el silicio que les da alta resistencia mecánica y a la corrosión.

Los conectores de compresión, se fabrican en una sola pieza y mediante herramientas especiales se colocan para la unión de conductores, deben de ser de cobre o aleación más resistente a la corrosión como es el caso del bronce, el revestimiento de estaño con el que protegen la corrosión no debe de ser menor a 0.25 mm (10 milésimas de pulgada) de espesor

Los conectores a presión deberán diseñarse para una temperatura máxima de 250° a 350° C.

Los conectores soldables son aquellos que mediante una reacción química exotérmica, los conductores y el conector se sueldan en una conexión molecular. Este tipo de conector, por su naturaleza, soporta la misma temperatura de fusión del conductor.

Los conectores deberán seleccionarse con el mismo criterio con que se seleccionan los conductores, además tendrán las siguientes propiedades:

- a) Tener dimensiones adecuadas para absorber el calentamiento que se produce al circular por él las corrientes elevadas. (Resistentes a la fusión).
- b) Tener suficientemente asegurados a los conductores para soportar los esfuerzos electrodinámicos originados por las fallas, además de no permitir que el conductor se mueva dentro de él.

1.4. Características de un sistema de tierra

Cada elemento del sistema de tierra deberá tener las siguientes características:

- a) Resistencias a la corrosión. Para retardar su deterioro en el ambiente donde se localice.
- b) Conductividad eléctrica. De tal manera que no contribuya sustancialmente con diferencias de potencial en el sistema de tierra.
- c) Capacidad de conducción de corriente. Suficiente para soportar los esfuerzos térmicos durante las condiciones más adversas impuestas por la magnitud y duración de las corrientes de falla.
- d) Resistencia mecánica. De tal manera que soporte esfuerzos electromecánicos y daño físico.

1.5. Diferencia entre el hilo de neutro y el hilo de tierra

En el estudio de los sistemas de tierra, es importante tener en cuenta la diferencia que existe en el hilo neutro con respecto al hilo de tierra en los sistemas eléctricos.

El neutro se forma de la unión de los conductores de fase del sistema eléctrico conectado en estrella (Y), su principal función es la de proporcionar la facilidad para obtener dualidad de tensiones en estos sistemas. Debido a esto es que en condiciones normales de funcionamiento del sistema eléctrico se presenta circulación de corriente.

En un sistema balanceado, teóricamente al conductor neutro se le considera un potencial nulo con respecto a los conductores de fase, pero como ésta es una condición difícil de mantener en la práctica, en los sistemas desbalanceados el hilo neutro debe soportar la corriente de desbalanceo que es igual a la corriente que circula por la fase más cargada.

Por otro lado, el hilo de tierra es aquel que conecta al blindaje de los equipos eléctricos con los electrodos que están en contacto directo con la tierra o suelo que pisamos, se utiliza para proporcionar un camino de baja impedancia para conducir las corrientes nocivas que pueden presentarse en lugares por los que en condiciones normales de funcionamiento no deben existir y así evitar potenciales peligrosos a las personas que toquen por alguna razón esos sitios energizados en el momento de producirse una falla en el sistema eléctrico.

En algunas ocasiones se puede presentar una diferencia de potencial entre el hilo neutro y el hilo de tierra, para evitar esta situación, debe conectarse a tierra el neutro de los sistemas eléctricos uniendo así la tierra de aterrizaje de los equipos con la tierra de aterrizaje del transformador, reduciendo con esto las resistencias a valores tendientes a cero.

La función que desempeña un neutro aterrizado entre otras, es la de mantener fijo el centro de un sistema trifásico auxiliado en cierto modo por su balanceo.

CAPITULO 2. ANÁLISIS Y CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE TIERRAS

2.1. Resistividad del terreno, definiciones y unidades.

La resistividad del suelo que rodea a una varilla o electrodo de tierra es uno de los parámetros más críticos que el diseñador tiene que determinar, debido a la gran influencia que tiene sobre la resistencia del electrodo y sobre los gradientes de voltaje en la superficie del área de la subestación.

El principal objetivo del diseño de una red de tierras es limitar estos parámetros a valores seguros.

La resistividad eléctrica o resistencia específica de un terreno, es la resistencia de un volumen de éste, el cual tiene un área con sección transversal y longitud unitarias. Ver fig. 2.1

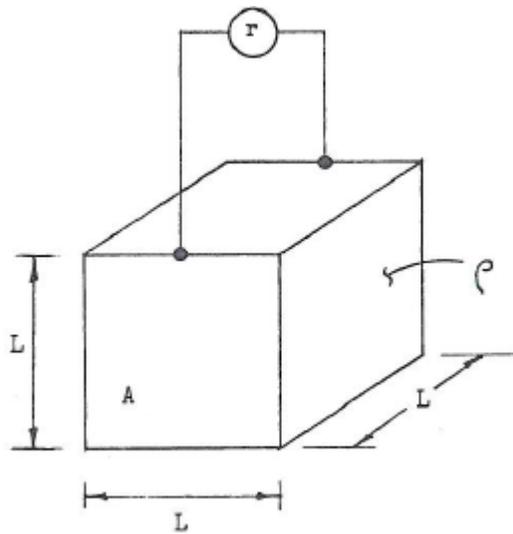


FIG. 2.1

De la figura 2.1, tenemos la siguiente ecuación:

$$R = \rho \frac{L}{A} \text{ despejando a } \rho:$$

$$\rho = R \left(\frac{L}{A} \right) = \text{Ohms (long x long)/long} = \text{Ohms x long}$$

dónde:

ρ = Resistividad del terreno en Ohms – metro

R = Resistencia en ohms

A = Área de la sección transversal en m²

L = Longitud en m.

Por tanto, la resistividad del terreno para un diseño de tierras regularmente se determina con datos de campo, ya que la resistividad del terreno varía tanto horizontal como verticalmente, los

datos generalmente conocidos como “perfil de resistividad aparente del suelo”, se obtienen por pruebas y en varios lugares hasta cierta profundidad en el terreno de la subestación.

Un modelo del terreno con sus parámetros empleados en el diseño, pueden determinar por simples técnicas o por los métodos más sofisticados de computadoras (programas especiales o dedicados a realizar esos estudios).

2.2. Características y tipos de suelo.

El comportamiento de una varilla o electrodo de tierra enterrada en el suelo, puede analizarse por medio del circuito mostrado en la fig. 2.2

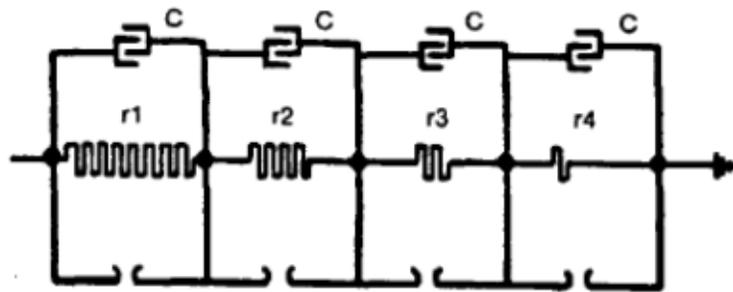


FIG. 2.2 Modelo del suelo. De acuerdo a IEEE-Std80

Como se muestra, la mayoría de los suelos se comportan como un conductor de resistencia “ r ” y como un dieléctrico; excepto para ondas de alta frecuencia.

Con mucha pendiente penetrando en el material muy resistivo, la corriente de carga es despreciable en comparación con la corriente de fuga y la tierra puede representarse por una resistencia pura.

2.3. Efecto de gradiente de voltaje

La resistividad del suelo no se afecta por el gradiente de voltaje a menos que este exceda un cierto valor crítico. El valor algunas veces varía con el tipo de material del suelo, generalmente tiene una magnitud de varios Kilovolts por centímetro.

Una vez excedido, se desarrollará un arco en la superficie del electrodo que avanzará hacia tierra a fin de incrementar el tamaño efectivo del electrodo, hasta que los gradientes son reducidos a valores que el material del suelo puede soportar. Como se mostro en la figura 2.

Ya que el sistema de tierras de la subestación se diseña para cumplir con criterios más rigurosos del límite de voltajes de paso y de contacto, el gradiente puede suponerse que está por debajo del valor crítico.

2.4. Efecto de la magnitud de la corriente

La resistividad del suelo (ρ) en la vecindad de una varilla o electrodo de tierra puede verse afectada por la corriente que fluye en los electrodos hacia el terreno que las rodea.

Las características térmicas y el contenido de humedad del suelo determinaran si la corriente de una magnitud y duración causará que el terreno pierda humedad y se incremente su resistividad.

Un valor conservador de densidad de corriente no debe exceder de 200 A/m^2 . Por un segundo.

2.5. Efecto de la humedad, temperatura y contenido químico sobre la resistividad del suelo

La resistividad de la mayoría de los suelos se eleva considerablemente, cuando el contenido de humedad se reduce a menos del 15% del peso del suelo, la cantidad de agua en el suelo depende del tamaño de las partículas, su compactación y variabilidad. Sin embargo como se muestra en la figura 2.3. Curva 2. La resistividad se afecta muy poco una vez que el contenido de humedad excede el 22%.

La curva 3 de la fig. 2.3. Muestra la variación típica de la resistividad del suelo con respecto a la temperatura para un suelo arcillosos, conteniendo 15.2% de humedad por peso.

El efecto de la temperatura sobre la resistividad del suelo puede considerarse despreciable para temperaturas arriba del punto de congelación a 0°C el agua en el suelo se empieza a congelar e incrementar su resistividad rápidamente.

La composición y la cantidad de sales solubles, ácidos o álcalis presentes en los suelos, puede efectuar considerablemente su resistividad. La curva 1 de la fig. 2.3. Ilustra el efecto típico de la sal (cloruro de sodio) sobre la resistividad del suelo que contiene 30% de humedad de peso.

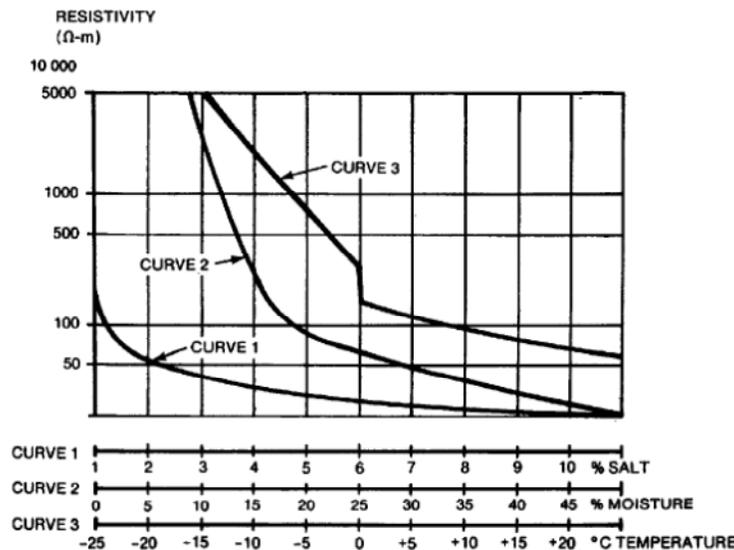


FIG. 2.3 Curvas de efectos sobre la resistividad. De acuerdo al IEEE-Std80

2.6. Técnicas de medición

La investigación en campo del terreno de una subestación eléctrica, es esencial para determinar tanto la composición general del suelo como la obtención de algunas ideas básicas acerca de su homogeneidad. Generalmente en excavaciones y otros trabajos de Ingeniería Civil, en el sitio donde se localizara la malla de tierras.

La resistividad del suelo para el diseño de una red de tierras generalmente se determina recopilando datos de campo en el sitio en cuestión. Ya que existen variaciones tanto horizontal como verticalmente en la composición del suelo, es conveniente realizar las pruebas de campo en varios lugares del terreno. La mayor cantidad posible de datos obtenidos en las pruebas nos permitirá seleccionar con precisión el modelo del suelo a usar en el diseño de nuestra red.

Existen dos métodos para la medición de la resistividad del terreno, el método de 4 puntos o método de Wenner y el método de 3 puntos o de Caída de Potencial.

A) Método de 4 puntos o método de Wenner

Este método es el más usado para la medición de la resistividad promedio del terreno.

Se entierran pequeños electrodos a una profundidad “b” y espaciados a intervalos “a”. se hace circular una corriente de prueba “I” entre los dos electrodos exteriores y se mide con un voltímetro de alta impedancia el voltaje en los dos interiores. La relación V/I nos dará la resistencia (r) en ohm.

Existen dos variaciones en este método:

- a) Electrodos igualmente espaciados o arreglo de Wenner.
Con este arreglo los electrodos están igualmente espaciados como se muestra en la fig. 2.4.

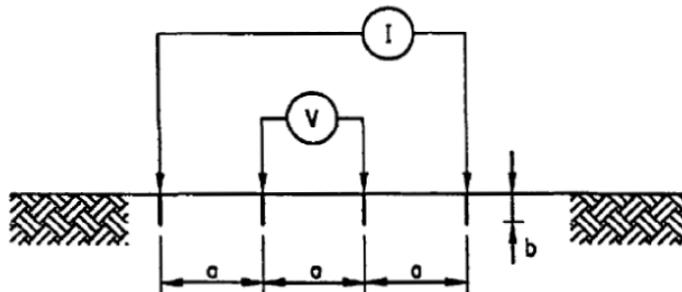


FIG. 2.4 Metodo de Wenner. De acuerdo a IEEE-Std80

Así mismo sea “a” la distancia entre dos electrodos adyacentes, entonces la resistividad en términos de las longitudes “a” y “b” que podemos medir será:

$$\rho = \frac{4\pi ar}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

Donde $b = 0.1a$

La localización de los electrodos es sobre una línea recta.

Si la longitud "b" es mucho menor que la longitud "a", puede despreciarse y la formula se reduce a:

$$\rho = 2\pi ar$$

Y nos da aproximadamente la resistividad promedio (también conocida como resistividad aparente) del terreno.

Las lecturas obtenidas en campo pueden graficarse en función de su espaciamiento, indicándonos donde existen capas de diferentes suelos con sus respectivas resistividades y profundidades.

- b) Electrodo no igualmente espaciados o **Arreglo de Schlumberger – Palmer**
 Una desventaja del método de Wenner es el decremento rápido en la magnitud del voltaje entre los dos electrodos interiores cuando su espaciamiento se incrementa a valores muy grandes. Para medir la resistividad con espaciamiento grande entre los electrodos de corriente, puede usarse el arreglo en la fig. 2.5

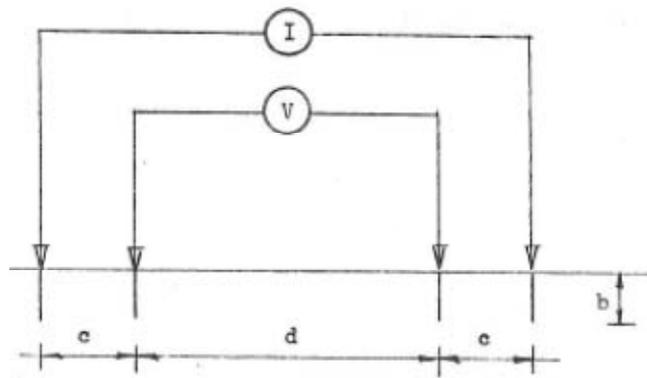


FIG. 2.5 Método de Schlumberger

Los electrodos de potencial se localizan lo más cerca de los correspondientes electrodos de corriente, esto incrementa el potencial medido.

La fórmula empleada en este caso puede determinar fácilmente. si la profundidad "b" de los electrodos es pequeña comparada con la separación "d" y "c", entonces la resistividad aparente puede calcularse como:

$$\rho = \frac{\pi c(c + d)r}{d}$$

Además con valores grandes de $[d / (2c+d)]$, las variaciones de las resistividades medidas debidas a irregularidades en la superficie son reducidas a un mínimo.

B) Método de tres puntos o de caída de potencial

El método de conexión para este método se muestra en la fig.2.6

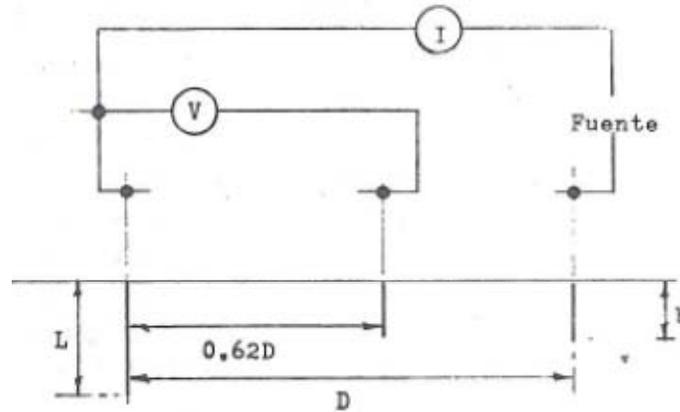


FIG. 2.6 Método de tres puntos

En este método la profundidad “L” de la varilla de prueba localizada en el terreno es variable. Las otras dos varillas conocidas como varillas de referencia se entierran a poca profundidad “b” y espaciadas sobre una línea recta; con la varilla de corriente y la varilla de prueba.

Para minimizar la interferencia inter-electrodos, la varilla de corriente deberá localizarse el menos a una distancia $5L_{\text{máx}}$ alejada de la varilla de prueba.

Estas especificaciones para la localización de las varillas de referencia están basadas en la suposición de un suelo uniforme.

Para un suelo uniforme, la resistencia de una varilla de longitud “l” y diámetro “D” enterrada en el suelo de resistividad ρ está dada por:

$$r = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \frac{2.943 L}{D} \right]$$

Para cada longitud “L” de la varilla, la resistencia “r” medida determina el valor de resistividad aparente, el cual cuando se grafica contra “L” es de gran ayuda para determinar las variaciones de la resistividad del terreno con la profundidad.

TIPO DE SUELO	RESISTIVIDAD EN $\Omega \cdot m$		
	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO
CALCAREO, DESPERDICIO DE SALMUERA Y CENIZA	23	6	70
ARCILLA Y TIERRA NEGRA	40	3.5	163
PIZARRA	52	5	100
ARENA Y GRAVA	540	590	4580
ARENISCA	1000	20	2000
PIEDRA CALIZA	2000	5	4000
PIEDRA CALIZA SUPERFICIAL	5000	100	10000
ROCA	10^4	--	--
GRANITO Y BASALTO	10^5	--	--
CONCRETO	200	--	--

Tabla 2.1 Resistividad de terreno por la IEEEStd80.

NOTA: La resistividad del terreno varía con la temperatura y la humedad.

Los datos de resistividad promedio están dados para unas condiciones de $40^{\circ} C$ de temperatura y 25% de humedad.

2.7. Disposiciones básicas de las redes de tierra.

a) Sistema radial.

Este sistema consiste en uno o varios electrodos de tierra a los cuales se conectan la derivación de cada uno de los equipos (Fig. 2.7). El sistema radial es el menos seguro, ya que al producirse una falla en el equipo, se producen elevados gradientes de potencial.

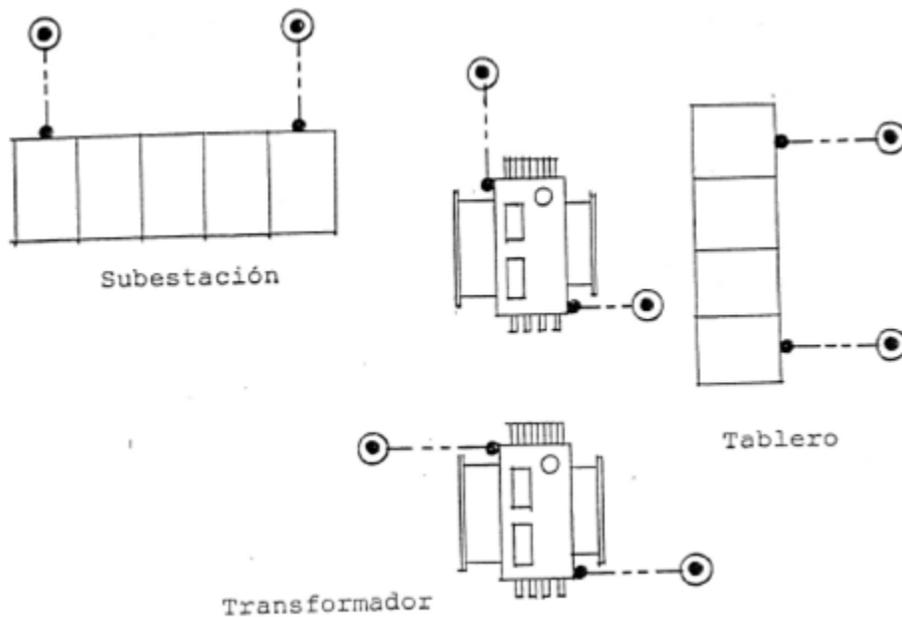


FIG. 2.7 Sistema de tierra tipo Radial

CONDUCTOR DE TIERRA	-----
VARILLA DE TIERRA	⊙
CONECTOR	•

Nota: Ver plano de simbología en pág. 135

b) Sistema en anillo

El sistema de anillo se obtiene colocando en forma de anillo un conductor de suficiente calibre alrededor de la superficie ocupada por los equipos de la subestación (Fig. 2.8). Al anillo se conectan derivaciones de cada uno de los equipos usando un conductor de calibre más delgado. En los vértices del anillo se instalan varillas o electrodos de tierra. Este sistema es más eficiente que el sistema radial, ya que los potenciales disminuyen al disiparse la corriente de falla por varias trayectorias en paralelo.

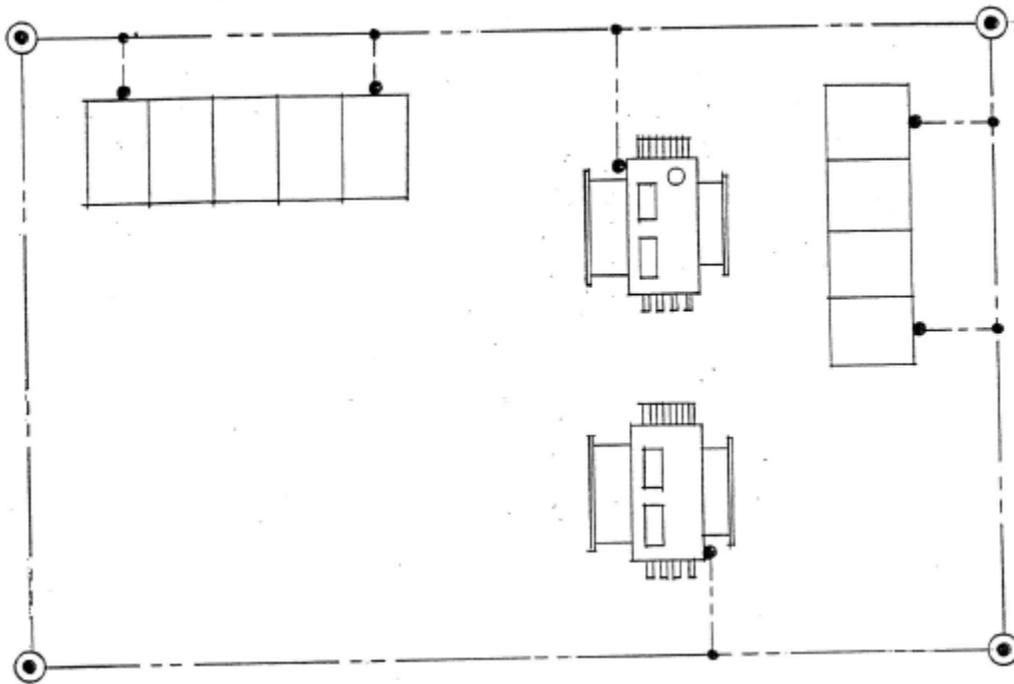


FIG. 2.8 Sistema de tierra tipo anillo

CONDUCTOR DE TIERRA - - - - -

VARILLA DE TIERRA ⊙

CONECTOR •

Nota: Ver plano de simbología en pág. 135

c) **Sistema de malla**

El sistema de malla es el más usado actualmente en las subestaciones eléctricas. Consiste, como su nombre lo indica, en un arreglo de conductores perpendiculares formando una malla a retícula, a la cual se conectan las derivaciones de cada uno de los equipos. En el perímetro de la malla generalmente se colocan varillas o electrodos de tierra (Fig. 2.9).

Este sistema es el más eficiente, ya que se limitan los potenciales originados por la circulación de la corriente de falla.

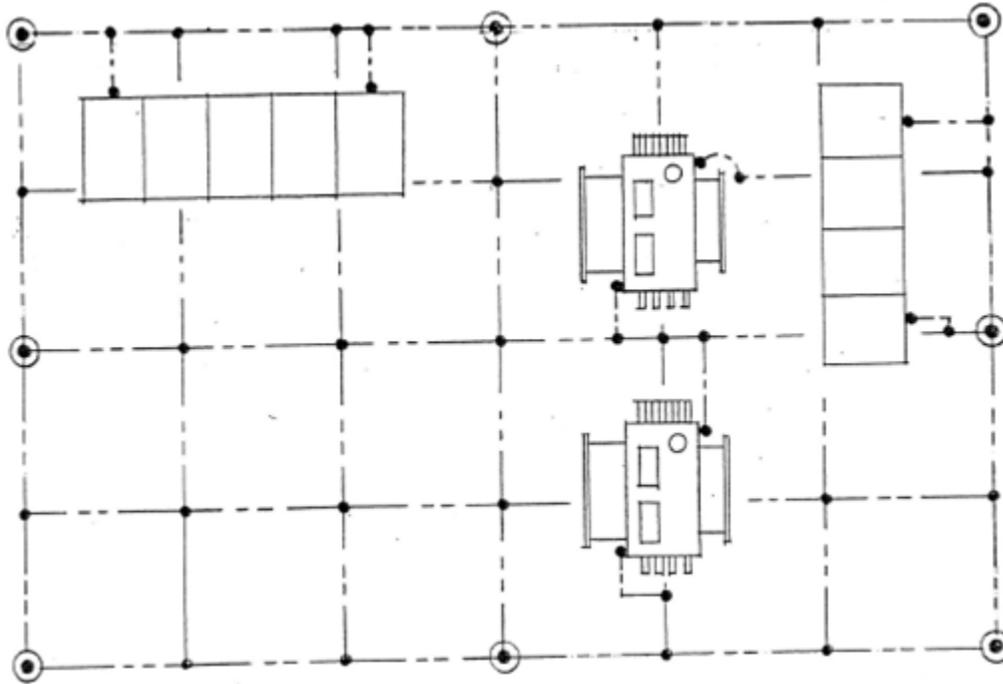


FIG. 2.9 Sistema de tierra tipo Malla

CONDUCTOR DE TIERRA - - - - -

VARILLA DE TIERRA ⊙

CONECTOR •

Nota: Ver plano de simbología en pág. 135

2.8. Corriente máxima de la falla a tierra, análisis de fallas, división de corrientes y asimetría

2.8.1. Determinación de la corriente máxima de la malla.

Para obtener el valor correcto de la corriente máxima de malla I_G para el cálculo de la red de tierras de la subestación, se seguirán los siguientes pasos:

- a) Evaluar el tipo y localización de aquellas fallas a tierra que probablemente producirán los mayores flujos de corriente entre la malla y el terreno circundante, produciendo la mayor elevación en el potencial de la malla con respecto a tierra (GRP) y los mayores gradientes de potencial en el área de la subestación.
- b) Determinar por cálculo, el factor de división de la corriente de falla S_f , para cada uno de los tipos de falla seleccionados en el inciso a), y establecer los valores correspondientes de corriente simétrica de malla I_g .
- c) Para cada uno de los tipos de malla y basado en su tiempo de duración t_f , determinar el valor del factor de decremento D_f para los efectos de asimetría de la onda de la corriente de falla.
- d) Seleccionar el valor más grande del producto $D_f I_g$, Y por lo tanto la peor condición de falla; y establecer el valor del factor de proyección C_p para obtener los márgenes para crecimiento futuro del sistema.

2.8.2. Corriente simétrica de malla.

Es una parte de la corriente simétrica de falla a tierra que fluye de la malla de tierra hacia el terreno que la rodea. Puede expresarse como:

$$I_g = S_f I_f$$

donde:

I_g = Corriente simétrica de malla en amperes.

I_f = Valor rms de la corriente simétrica de falla a tierra en amperes.

S_f = Factor de división de corriente que relaciona la magnitud de la corriente de falla a la parte de esta corriente que fluye de la malla hacia el terreno.

2.8.3. Corriente máxima de la malla

El valor de la corriente máxima de malla se define como

$$I_G = C_p D_f I_g$$

donde:

I_G = corriente máxima de malla en amperes.

Df=Factor de decremento para un tiempo de duración total de la falla t_f en Segundos.

Cp=Factor de la proyección que toma en cuenta los incrementos relativos de la Corriente de falla a lo largo de la vida útil de la instalación. Cuando no existieran incrementos en la corriente de falla, $C_p = 1$.

Ig= corriente simétrica de malla (valor rms) en amperes.

2.8.4. Efecto de la asimetría, factor de decremento

La máxima corriente de malla I_G , como se describió en el punto anterior, es la máxima corriente asimétrica que fluye entre la malla de tierra y el terreno que la rodea.

Esta corriente incluye la corriente simétrica I_g , así como una corrección para la componente de corriente directa. Esta componente decae exponencialmente y se le conoce como desplazamiento de la corriente cd.

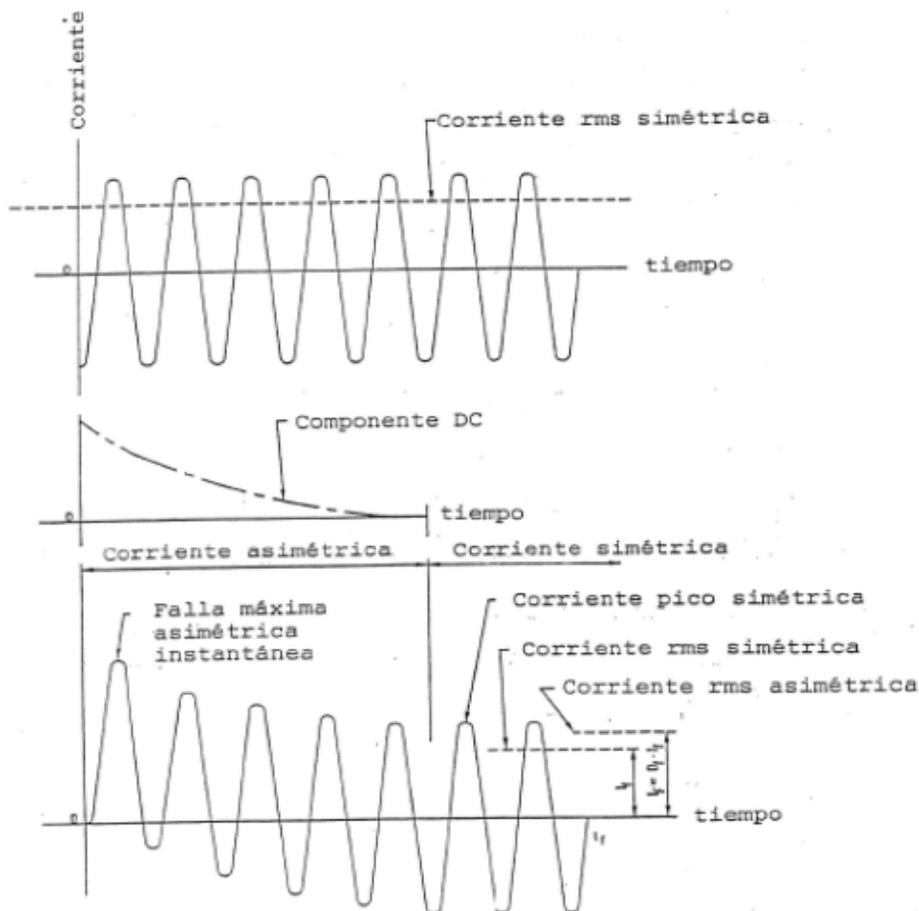


FIG. 2.10 Relación entre los valores de corriente de falla IEEE-Std80

Relación entre los valores de corriente de falla y los valores $I_F, I_f, y D_f$ para un tiempo de duración de t_f (FIG. 2.10), ya que el diseño de la red de tierra debe considerar la corriente asimétrica, debemos encontrar un factor llamado de decremento D_f el cual tomará en cuenta el efecto de desplazamiento de la componente de cd.

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} [1 - e^{-2t_f/T_a}]}$$

donde:

t_f = Duración de la falla en segundos

T_a =Constante de tiempo subtransitoria en segundos.

$$T_a = \frac{X''}{\omega R}$$

La relación X''/R es la relación X/R en el punto de falla y para un determinado tipo de falla.

$\omega = 2\pi f$.

Se presenta la siguiente tabla 2.2 para D_f y diferentes valores de X/R :

DURACION DE FALLA t_f (SEG)	60 Hz (CICLOS)	FACTOR DE DECREMENTO D_f			
		$X/R = 10$	$X/R = 20$	$X/R = 30$	$X/R = 40$
0.00833	0.5	1.576	1.648	1.675	1.688
0.05	3	1.232	1.378	1.462	1.515
0.1	6	1.125	1.232	1.316	1.378
0.2	12	1.064	1.125	1.181	1.232
0.3	18	1.043	1.085	1.125	1.163
0.4	24	1.033	1.064	1.095	1.125
0.5	30	1.026	1.052	1.077	1.101
0.75	45	1.018	1.035	1.052	1.068
1	60	1.013	1.026	1.039	1.052

Tabla 2.2 Factor de decremento D_f , para varios casos de la relación X/R

2.8.5. Factor de decremento “D”

Este factor se produce por el desplazamiento de la componente de corriente directa y por la atenuación de las componentes transitorias de corriente alterna y directa de la corriente de falla.

Debido a que los cortocircuitos suceden en forma aleatoria con respecto a la onda de tensión y como el contacto puede existir en el momento en que se inicia la falla, se hace necesario suponer una onda de corriente de falla a tierra asimétrica desplazada 100% durante el tiempo de choque eléctrico. Como las experiencias para fijar el umbral de fibrilación están basadas en corrientes senoidales simétricas de amplitud constante, es necesario determinar la magnitud efectiva I de una corriente senoidal equivalente a la onda de falla asimétrica, el valor de D se determina por la siguiente expresión:

$$I_{c \text{ asim}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^1 I_f^2 dt} = D I''_{c \text{ sim}}$$

$$D = \frac{1}{I''} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_f^2 dt}$$

donde:

$I_{c \text{ asim}}$ = Valor efectivo ajustado de la corriente de falla a tierra (Amperes)

T = Duración de la falla y por tanto del choque eléctrico (en segundos).

t = Tiempo a partir de la duración de la falla (en segundos).

I_f = Valor efectivo de la corriente de falla a tierra, al tiempo t .

D = factor de decremento que toma en cuenta el efecto de desplazamiento de la corriente y la atenuación de componentes transitorias, alterna y Directa de I de falla.

Al aplicar la ecuación anterior resultan los valores que se indican en la tabla 2.3.

DURACION DE LA FALLA Y DEL CHOQUE ELÉCTRICO (t seg)	FACTOR DECREMENTO (D)
0.08	1.65
0.1	1.25
0.2	1.2
0.25	1.1
0.50 o más	1

Tabla 2.3

Factor de división de la corriente de falla.

Se define como:

$$Sf = \frac{I_g}{3I_o} = \frac{I_g}{I_f}$$

donde:

I_g = Corriente simétrica de malla

I_o = Corriente de secuencia cero en el punto de falla

2.8.6. Tipos de falla a tierra

Pueden ocurrir diferentes tipos de falla en el sistema, pero desafortunadamente es difícil determinar qué tipo de falla y su localización, ya que proporcionarán el mayor flujo de corriente entre la malla de tierras y el terreno que la rodea.

En la determinación de los tipos de falla deberá considerarse la probabilidad de que ocurra la falla. Para propósitos prácticos se recomienda que la investigación sobre máximas corrientes se realice únicamente con la falla de línea a tierra (monofásica) y de dos líneas a tierra (bifásica a tierra).

Las formulas para calcularse son respectivamente:

$$I_o = \frac{E}{X_1 + X_2 + X_0}$$

$$I_o = \frac{E X_2}{X_1 (X_0 + X_2) + X_2 X_0}$$

donde:

I_o = Corriente rms simétrica de secuencia cero en el punto de falla.

E = Voltaje en el punto de falla

X_1 = Reactancia equivalente de secuencia positiva en el punto de falla

X_2 = Reactancia equivalente de secuencia negativa en el punto de falla

X_0 = Reactancia equivalente de secuencia cero en el punto de falla.

2.8.7. Efecto de la resistencia a tierra de la malla

En la mayoría de los casos, es suficiente calcular la corriente máxima de malla I_G como se describió en los párrafos anteriores, despreciando las resistencias de los elementos del sistema eléctrico, la resistencia a tierra de la malla y la impedancia de la falla. El error que se introduce en los cálculos es despreciable dando más margen de seguridad a la red, ya que la corriente calculada es ligeramente mayor.

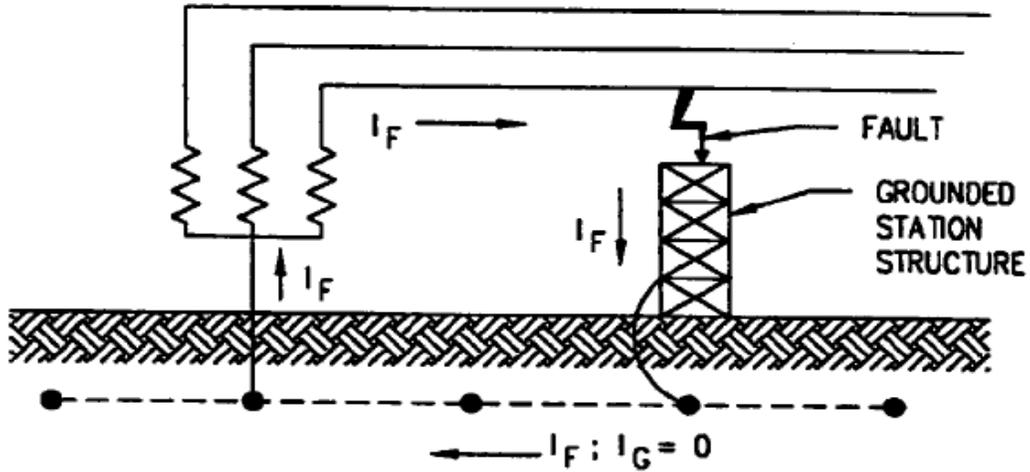


FIG. 2.11 Falla local en la subestación neutro aterrizado localmente
La corriente busca el neutro del circuito para cerrar el circuito

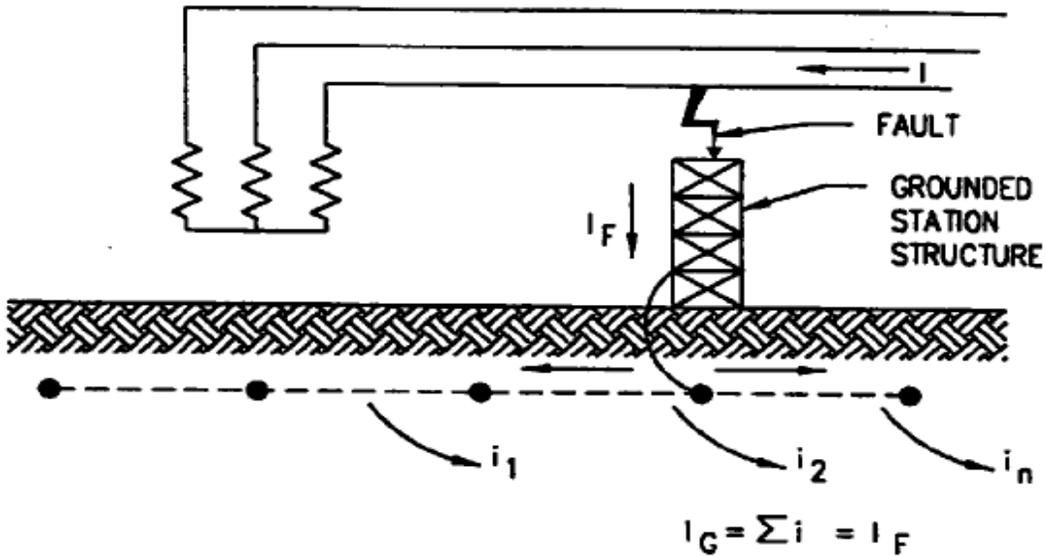


FIG. 2.12 Falla local en la subestación con neutro aterrizado remotamente
La corriente pasa por el terreno para buscar un neutro y cerrar el circuito

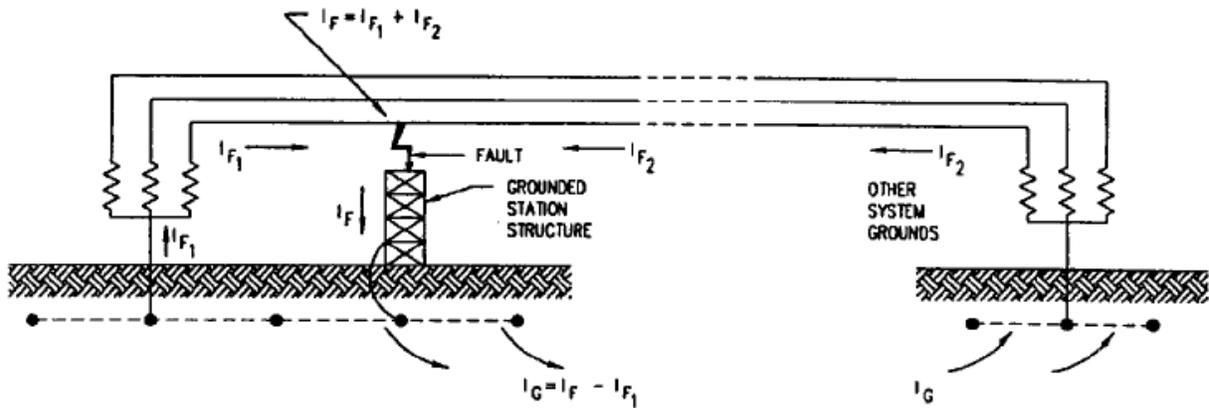


FIG.2.13 Falla local en la subestación sistema aterrizado localmente
 La corriente de falla tiene 2 caminos buscando el neutro del sistema y de la fuente.

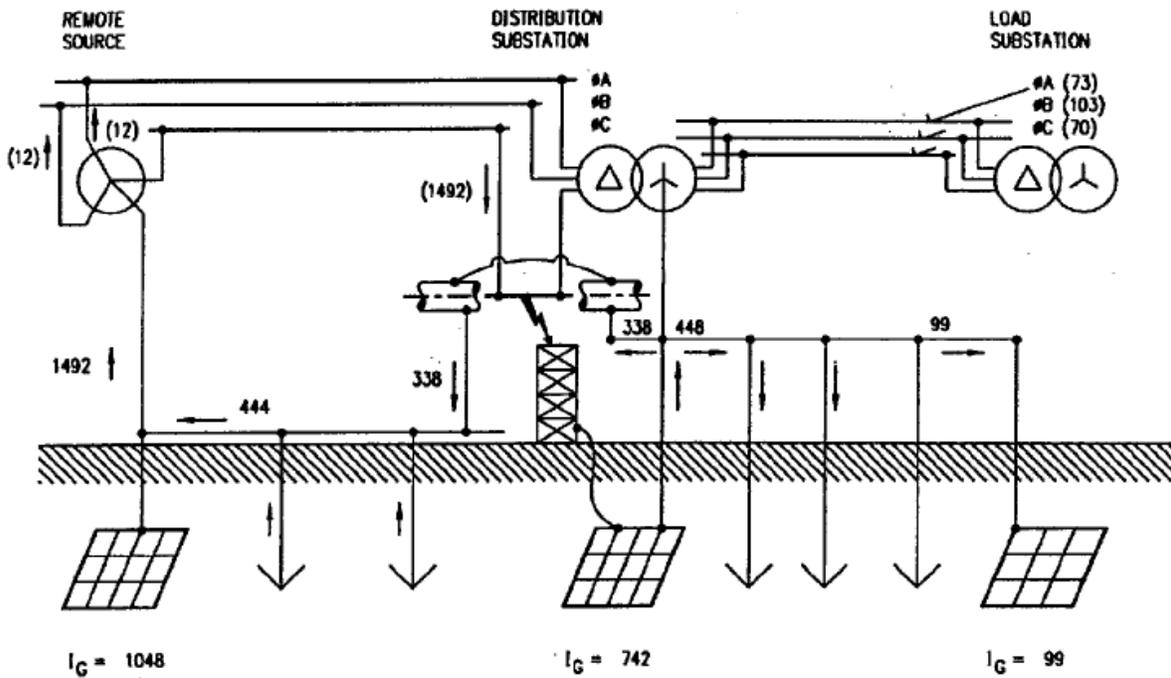


FIG. 2.14 División de corrientes para una falla en el lado de alta tensión de una subestación de distribución

2.8.8. Resistencia a tierra.

Un sistema de tierras deberá proveer una resistencia a tierra con valor cercano a cero; en la práctica la elevación del potencial a tierra en el lugar de la subestación se incrementa proporcionalmente con la corriente de falla, a altas corrientes se deberá tener un valor muy bajo de resistencia a tierra del sistema.

Para subestaciones de potencia es recomendable tener valores de resistencia a tierra cercanos a 1 Ohm ó menos; mientras que en subestaciones de distribución un rango aceptable es de 1 a 5 ohm dependiendo de las condiciones locales.

2.9. Cálculos simplificados

El valor estimado de la resistencia a tierra es uno de los primeros pasos para determinar el tamaño y arreglo básico del sistema de tierras. A primera vista todavía no está diseñado y su resistencia es desconocida.

Afortunadamente la resistencia depende en primer lugar del área ocupada por el sistema de tierras, la cual es conocida desde que se inicia el diseño.

Como primera aproximación, el valor mínimo de la resistencia a tierra en la subestación, en suelo uniforme puede estimarse por medio de la fórmula de una placa metálica circular una vez que se ha determinado la resistividad del suelo.

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad \dots 1$$

donde:

R_g = Resistencia a tierra en Ohms.

ρ = Resistividad promedio del suelo en Ohm-metro

A = Área ocupada por la malla de tierra en m²

Puede obtenerse un valor límite de la resistencia agregando un término a la fórmula anterior:

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A} + \frac{\partial}{L}} \quad \dots 2$$

donde:

L = Longitud total de conductores enterrados en la red en m.

El segundo término reconoce el hecho de que la resistencia de cualquier sistema que consiste en un número de conductores es mucho mayor que el formado por una placa sólida, y que esta

diferencia decrecerá cuando se incremente la longitud de los conductores enterrados, aproximándose a cero cuando L sea infinita, alcanzándose la condición de placa solida.

Las ecuaciones anteriores pueden emplearse con razonable precisión para profundidades de la red menores a 0.25 metros.

Para profundidades entre los 0.25 y 2.5 metros se requieren una corrección por profundidad:

$$R = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{a}}} \right) \right] \quad \dots 3$$

donde:

h = Es la profundidad de la malla en metros.

La ecuación 1 se usara solamente cuando se requiera un valor estimado de la resistencia a tierra.

Las ecuaciones 2 y 3 son de gran ayuda para calcular la elevación de potencial a tierra para evaluar un diseño preliminar y determinar la longitud aproximada de conductores enterrados que se necesitan para el control de los voltajes de paso y contacto.

Para una mejor estimación de la resistencia a tierra de malla con varillas de tierra, deberá emplearse la fórmula de Schwarz descrita a continuación.

2.9.1 Formula de Schwarz.

La resistencia de un sistema que consiste de una combinación de conductores horizontales (malla) y electrodos verticales (varilla), es menor que la resistencia de cualquiera de los componentes por separado, pero mayor que su combinación en paralelo.

La resistencia total es:

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - 2 R_{12}} \quad \dots 4$$

donde:

R_g = Resistencia total

R_1 = Resistencia de los conductores de la malla

R_2 = Resistencia de todas las varillas de tierra.

R_{12} = Resistencia mutua entre el grupo de conductores y el grupo de varillas.

Esta fórmula supone condiciones de suelo uniformes.

Sin embargo, en la práctica es común que al enterrarse la varilla, alcance capas de suelo de mayor conductividad por lo que las expresiones para R2 y R1 han sido modificadas.

$$R_1 = \left(\frac{\rho_1}{\pi l_1}\right) \ln\left(\frac{2l_1}{h'}\right) + k_1 \left(\frac{l_1}{\sqrt{A}}\right) - K_2 \quad \dots 5$$

$$R_2 = \left(\frac{\rho_n}{2n\pi l_2}\right) \left[\ln\left(\frac{8l_1}{d_2}\right) - 1 + 2k_1 \left(\frac{l_1}{\sqrt{A}}\right) (\sqrt{n} - 1)^2\right] \quad \dots 6$$

$$R_{12} = \left(\frac{\rho_2}{\pi l_1}\right) \left[\ln\left(\frac{2l_1}{l_2}\right) + k_1 \left(\frac{l_1}{\sqrt{A}}\right) - K_2 + 1\right] \quad \dots 7$$

donde:

- ρ_1 = Resistividad del suelo por el conductor enterrado a una profundidad "h" en $\Omega \cdot m$
- ρ_n = Resistividad del suelo aparente, dad por una varilla en $\Omega \cdot m$
- H = Espesor de la capa superior del suelo in "m"
- ρ_2 = Resistividad del suelo en una profundidad "H"
- l_1 = Longitud total del conductor de la red en "m"
- l_2 = Longitud promedio de una varilla de tierras en "m"
- h = Profundidad de malla enterrada en "m"
- h' = $\sqrt{d_1 h}$ Para conductores enterrados a una profundidad "h" o $0.5 d_1$ para conductores $h=0$ (sobre la superficie de la tierra).
- A = Área cubierta por la red de dimensiones a * b in m^2 .
- n = Numero de varillas de tierras colocadas en el área "A"
- k_1, k_2 = Constante (coeficientes) relacionadas con la geometría del sistema
- d_1 = Diametro del conductor de tierras en "m"
- d_2 = Diametro de la varilla de tierras en "m"
- a = Longitud de la malla en el lado corto en "m"
- b = Longitud de la malla en el lado largo en "m"

Las ecuaciones 5,6 y 7 son válidas para suelos con dos capas, con la capa superior de espesor H en la cual las varillas penetran para alcanzar la capa inferior. En tal caso, esto es $\rho_1 \geq \rho_2$ donde la malla está enterrada en la capa superior ρ_1 pero las varillas están parte en la capa ρ_1 y parte en la capa ρ_2 el cálculo de R_1 y R_{12} se realiza con una resistividad aparente ρ_a vista por las varilla de tierra igual a:

$$\rho_a = 1_2(\rho_1\rho_2)(\rho_2^H + \rho_1^{(1_2-H)})$$

Para el caso más general, en que la parte superior de las varillas están a la misma profundidad de la malla:

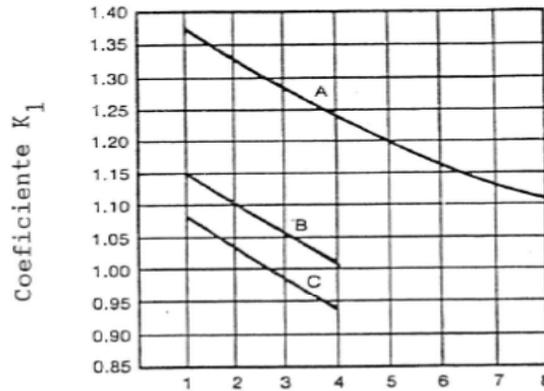
$$\rho_a = 1_2(\rho_1\rho_2)(\rho_2^{(H-h)} + \rho_1^{(1_2+h-H)})$$

Para suelos de resistividad uniforme:

$$\rho_2 = \rho_1$$

Si la diferencia entre ρ_1 y ρ_2 no es muy grande (de preferencia ρ_2 no menor que $0.2\rho_1$) y el espesor de la primera capa H es al menos $0.1b$, las ecuaciones son razonablemente precisas para la mayoría de los cálculos y demás fáciles de emplear.

Coeficientes k_1 y k_2 de la fórmula de Schwarz

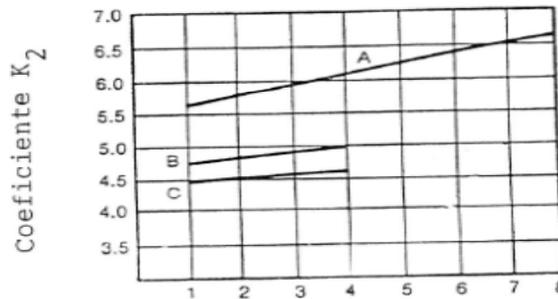


Relación longitud a ancho

Curva A.- para $h=0$ ($Y_A = -0.04x + 1.41$)

Curva B.- para $h=1/10 \sqrt{AREA}$ ($Y_B = -0.05x + 1.20$)

Curva C.- para $h=1/6 \sqrt{AREA}$ ($Y_C = -0.05x + 1.13$)



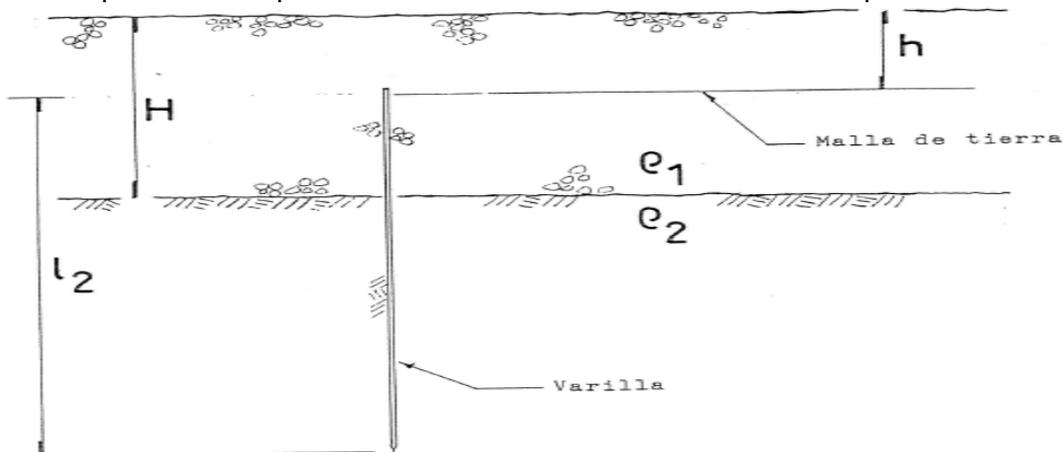
Relación longitud a ancho

Curva A.- para $h=0$ ($Y_A = 0.15x + 5.50$)

Curva B.- para $h=1/10 \sqrt{AREA}$ ($Y_B = 0.10x + 4.68$)

Curva C.- para $h=1/6 \sqrt{AREA}$ ($Y_C = 0.05x + 4.40$)

Resistividad aparente vista por una varilla de tierra en un modelo de 2 capas.



Quedando de la siguiente forma

$$\rho_a = l_2(\rho_1\rho_2)/(\rho_2[H - h] + \rho_1[l_2 + h - H])$$

2.10. Cálculo de potenciales tolerables por el cuerpo humano.

Rango de corriente

Los efectos que produce una corriente eléctrica al circular a través de partes vitales del cuerpo humano, dependen de la duración, magnitud y frecuencia de esta corriente.

Los efectos fisiológicos más comunes que se presentan al ir incrementando la corriente eléctrica que circula por el cuerpo son mostrados en la tabla 2.4.

CORRIENTE ELÉCTRICA CIRCULANTE EN EL CUERPO HUMANO (mA)	EFFECTOS FISIOLÓGICOS
1	Imperceptible para el Hombre.
2 a 3	Sensación de Hormigueo
3 a 10	El sujeto consigue generalmente desprenderse del contacto (liberación). De todas formas la corriente NO es mortal. Contracción muscular.
10 a 50	La persona es impotente para soltarse, sufre dolores.
50 a 100	La persona presenta parálisis muscular, respiración agitada, es decir, dificultad para respirar y choque severo que puede provocar pérdida de conocimiento.
100 a 200	Aumenta el riesgo de MUERTE por un paro respiratorio o asfixia
Más de 200	Presenta quemaduras graves, así como la pérdida de la respiración o paro cardíaco y causar la MUERTE .

Tabla 2.4

La consecuencia más peligrosa es la fibrilación ventricular, una condición de acción no coordinada de los ventrículos del corazón que da como resultado el paro inmediato de la circulación de la sangre.

La corriente de magnitud IB y rango de duración de 0.03 a 3 segundos que no produce fibrilación, está relacionada con la energía absorbida por el cuerpo y se describe en la siguiente ecuación:

$$(I_B)^2 t_s = S_B \quad \dots 8$$

Donde:

I_B = Magnitud rms de la corriente que fluye por el cuerpo.

t_s = Duración del flujo de corriente

S_B = Constante empírica relacionada con la energía tolerada por un porcentaje de una población dada.

Estos parámetros están basados en estudios en los cuales el 99.5% de todas las personas con peso aproximado de 50 Kg (110 libras) pueden soportar sin fibrilación ventricular, el paso de una corriente en magnitud y duración como la de la ecuación anterior.

Despejando I_B :

$$I_B = \frac{K}{\sqrt{t}} \quad \dots 9$$

Para las condiciones anteriores (50 Kg – 99.5%) el valor de $S_B = 0.0135$, por lo que:

$$k = \sqrt{S_B} = \sqrt{0.0135} = 0.116$$

$$I_B = \frac{0.116}{\sqrt{t}} \quad \dots 10$$

Para personas con peso aproximado de 70 Kg (155 libras) el valor de S_B es 0.0246 por lo que:

$$k = \sqrt{S_B} = \sqrt{0.0246} = 0.157$$

$$I_B = \frac{0.157}{\sqrt{t}} \quad \dots 11$$

Este valor puede considerarse típico para los cálculos, ya que la mayoría de la población tiene un peso alrededor de los 70 Kg.

Usando el valor de corriente tolerable por el cuerpo establecida anteriormente y las constantes apropiadas del circuito, es posible determinar el voltaje tolerable entre dos puntos críticos de contacto.

Para el análisis del circuito equivalente se aplicará la siguiente notación:

I_A = Corriente a través del circuito

R_A = Resistencia efectiva total del circuito

I_B = Corriente permisible por el cuerpo humano

Por condiciones de seguridad:

$$I_A < I_B$$

La resistencia R_A del circuito es función de la resistencia del cuerpo R_B y de la resistencia R_F (resistencia de la tierra debajo de cada pie).

Para el análisis del circuito, el pie humano puede representarse como un disco conductor despreciando la resistencia de contacto de los zapatos.

Las resistencias propias y mutuas para dos discos metálicos de radio b separados una distancia dF sobre la superficie de un terreno homogéneo de resistividad ρ son:

$$R_{foot} = \rho / (4b) \quad \dots 11a$$

$$R_{foot} = \rho / (2\pi d_{foot}) \quad \dots 11b$$

donde:

R_{foot} = Resistencia propia a tierra de cada pie en Ohms

R_{Mfoot} = Resistencia mutua entre los pies en Ohms

b = Radio equivalente de un pie en Ohms

d_{foot} = Separación de los pies en m.

La resistencia de la tierra bajo los dos pies en serie y en paralelo son:

$$R_{2F_s} = 2(R_{foot} - R_{Mfoot}) \quad \dots 12$$

$$R_{2F_p} = 0.5(R_{foot} - R_{Mfoot}) \quad \dots 13$$

donde:

R_{2F_s} = Resistencia de los dos pies en serie

R_{2F_p} = Resistencia de los dos pies en paralelo

La FIG. 2.15 define el circuito equivalente de un contacto pie a pie. El potencial U es la diferencial de potencial máxima entre dos puntos sobre la superficie separados por la distancia de un paso.

La resistencia del circuito equivalente para el potencial de paso es:

$$R_A = R_B + 2(R_{foot} - R_{Mfoot})$$

El circuito equivalente para el contacto entre una mano y los dos pies se muestra en la FIG. 2.16.

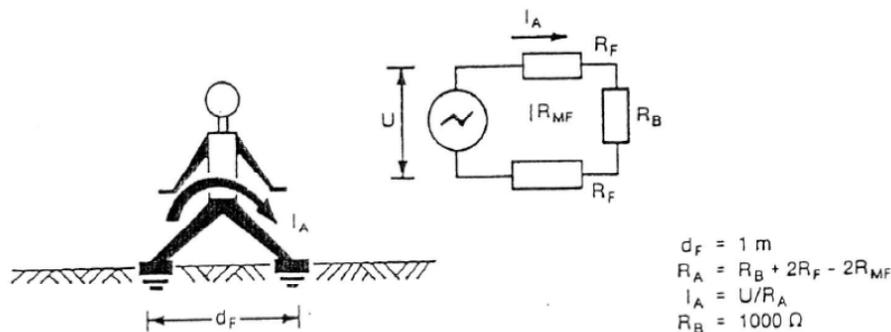


FIG.2.15 Circuito del potencial de paso

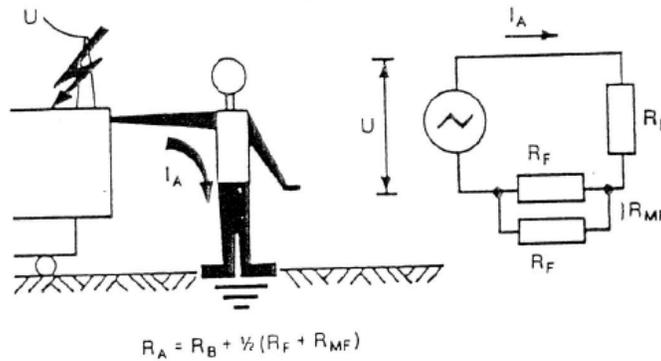


FIG.2.16 Circuito del potencial de contacto

La resistencia del circuito equivalente para el potencial de contacto está dada por:

$$R_A = R_B + 0.5(R_{foot} - R_{M_{foot}})$$

Se ha seleccionado para los cálculos un radio de 0.08 m (3 pulgadas) para el disco que representaría a un pie, despreciando el termino correspondiente a la resistencia mutua.

Con esta aproximación, las ecuaciones para las resistencias en serie y paralelo de los dos pies se obtienen en forma numérica expresada en términos de resistividad ρ^2 como:

$$R_{2F_a} = 6\rho \quad \dots 14$$

$$R_{2F_p} = 1.5\rho \quad \dots 15$$

2.10.1 Efecto de la capa de roca triturada en la superficie de la subestación

Las ecuaciones anteriores, basadas en la suposición de un terreno con resistividad uniforme, cuando se tiene una capa de roca triturada en la superficie de la subestación (8 a 15 cm) se incrementa la resistencia de contacto entre el terreno y los pies del personal en la subestación.

La ecuación para Rfoot y RMfoot serán ahora:

$$R_{foot} = \frac{\rho_1}{4b} F(x_1) \quad \dots 16$$

$$R_{M_{foot}} = \frac{\rho_1}{2\pi d_{foot}} F(x_2) \quad \dots 17$$

Donde:

.b y d foot se definieron anteriormente y F(x) es una función basada en el espaciamiento entre los pies y los valores relativos de las resistividades del terreno y de la roca triturada en la superficie.

$$F(x) = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} Q \quad \dots 18$$

$$Q = \frac{K^n}{\sqrt{1+(2nX)^2}} \quad \dots\dots 19$$

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad \dots\dots 20$$

Donde:

ρ_s = Resistividad de la roca triturada en Ohm-metro

ρ = Resistividad del terreno en Ohms-metro

X = x1 = hs/b para rfoot

X = x2 = hs/dfoot Para RMfoot

hs = Espesor de la capa de rocas triturada, en metros.

Como la cantidad F(x) es difícil de evaluar si no se cuenta con una computadora, estos valores han sido calculados y graficados para un amplio rango de valores de x y el factor K como se muestra en la FIG.2.17.

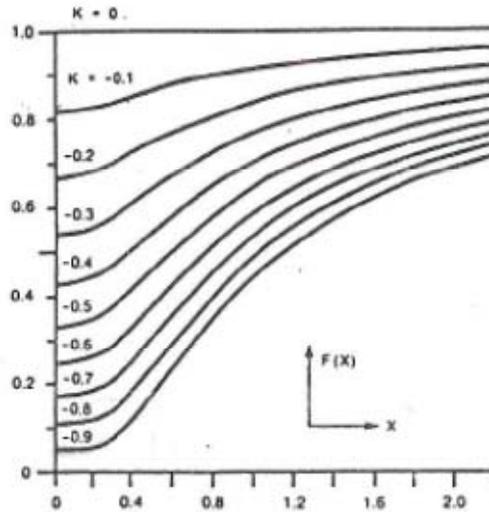


FIG. 2.17

Para simplificar el procedimiento anterior, se desprecia la resistencia mutua y el radio equivalente b se ha considerado 0.08 metros. Encontrándose las ecuaciones para la resistencia de los 2 pies en serie y paralelo de la siguiente forma:

$$R_{2F_s} = 6.0 C_s(H_s, K) \rho_s \quad \dots\dots 21$$

$$R_{2F_p} = 1.5 C_s(H_s, K) \rho_s \quad \dots\dots 22$$

Donde:

Cs = Factor de reducción del valor nominal de la resistividad superficial.

Cs = 1 para cuando la resistividad superficial es igual a la resistividad del terreno

K= Factor de reflexión

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s}$$

- ρ_s = Resistividad de la roca triturada en Ohms-metro
- ρ = Resistividad del terreno Ohms-metro.
- h_s = Espesor de la capa triturada.

En cualquier otro caso:

$$C_s = \frac{1}{0.96} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{1+(2nh_s/0.08)^2}} \right] \dots 23$$

Para este último caso en que $C_s < 1$, donde C_s es una función de (h_s, k) y el cual distingue las ecuaciones 21 y 22 de las ecuaciones 14 y 15. Los valores de C_s se grafican en la FIG. 2.18.

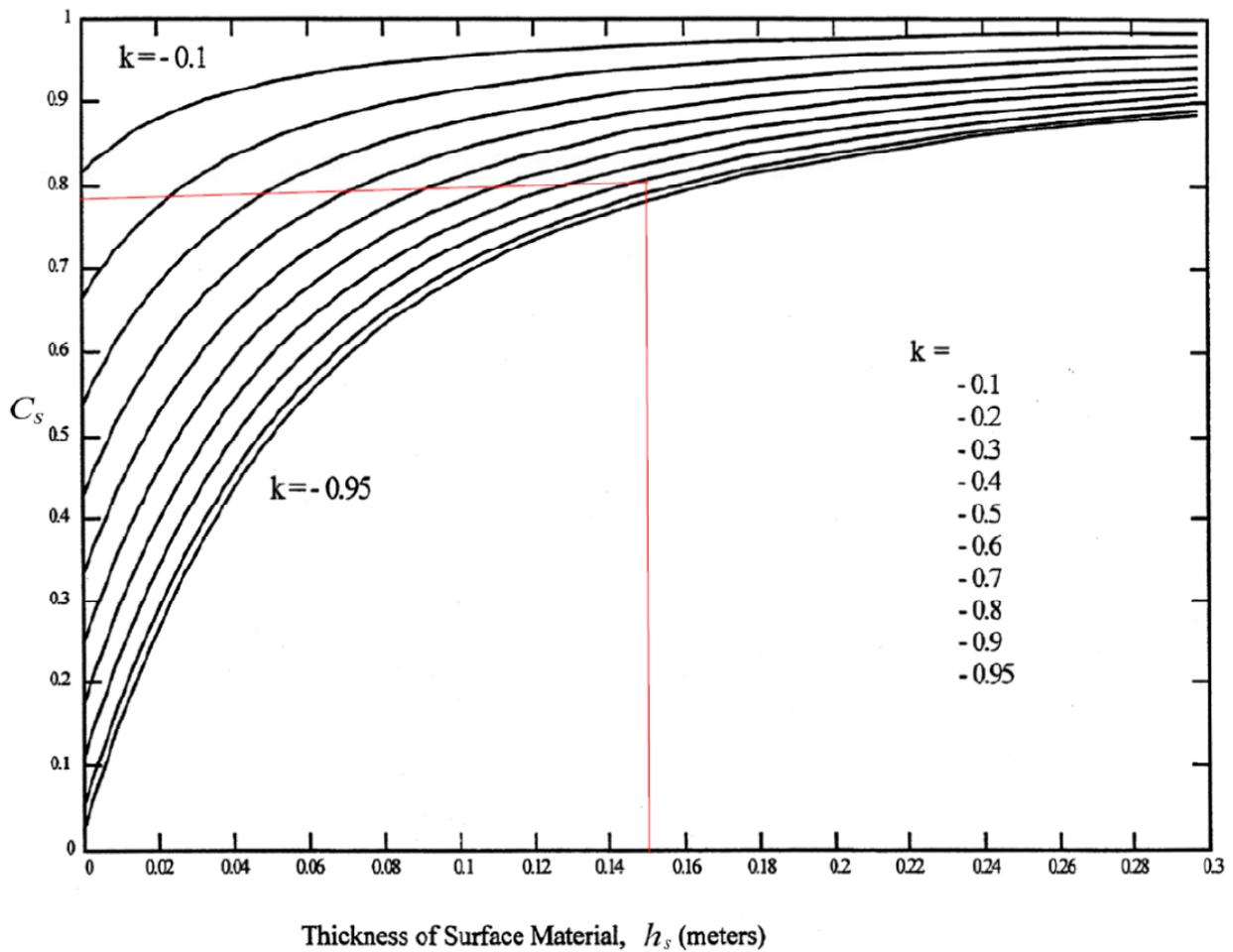


FIG. 2.18

2.10.2. Potencial de paso tolerable.

Se calcula a partir de las ecuaciones y circuito equivalente estudiados anteriormente.

$$E_{paso} = (R_B + R_{2F_s}) I_B$$

$$E_{paso_{50}} = (1000 + 6C_s(h_s, K)\rho_s) 0.116/\sqrt{t_s} \quad \dots 24$$

$$E_{paso_{70}} = (1000 + 6C_s(h_s, K)\rho_s) 0.157/\sqrt{t_s} \quad \dots 25$$

2.10.3 Potencial de contacto tolerable.

Se calcula a partir de las ecuaciones y circuito equivalente estudiados anteriormente.

$$E_{cont} = (R_B + R_{2F_p}) I_B$$

$$E_{paso_{50}} = (1000 + 1.5C_s(h_s, K)\rho_s) 0.116/\sqrt{t_s} \quad \dots 26$$

$$E_{paso_{70}} = (1000 + 1.5C_s(h_s, K)\rho_s) 0.157/\sqrt{t_s} \quad \dots 27$$

donde:

$C_s = 1$ Para cuando no existe una capa superficial en la subestación ó determinado a partir de la FIG 2.18 cuando se tenga una capa superficial de alta resistividad y pequeño espesor.

ρ_s = Resistividad del material de la superficie en Ohm-metro.

t_s = Duración de la corriente en segundos.

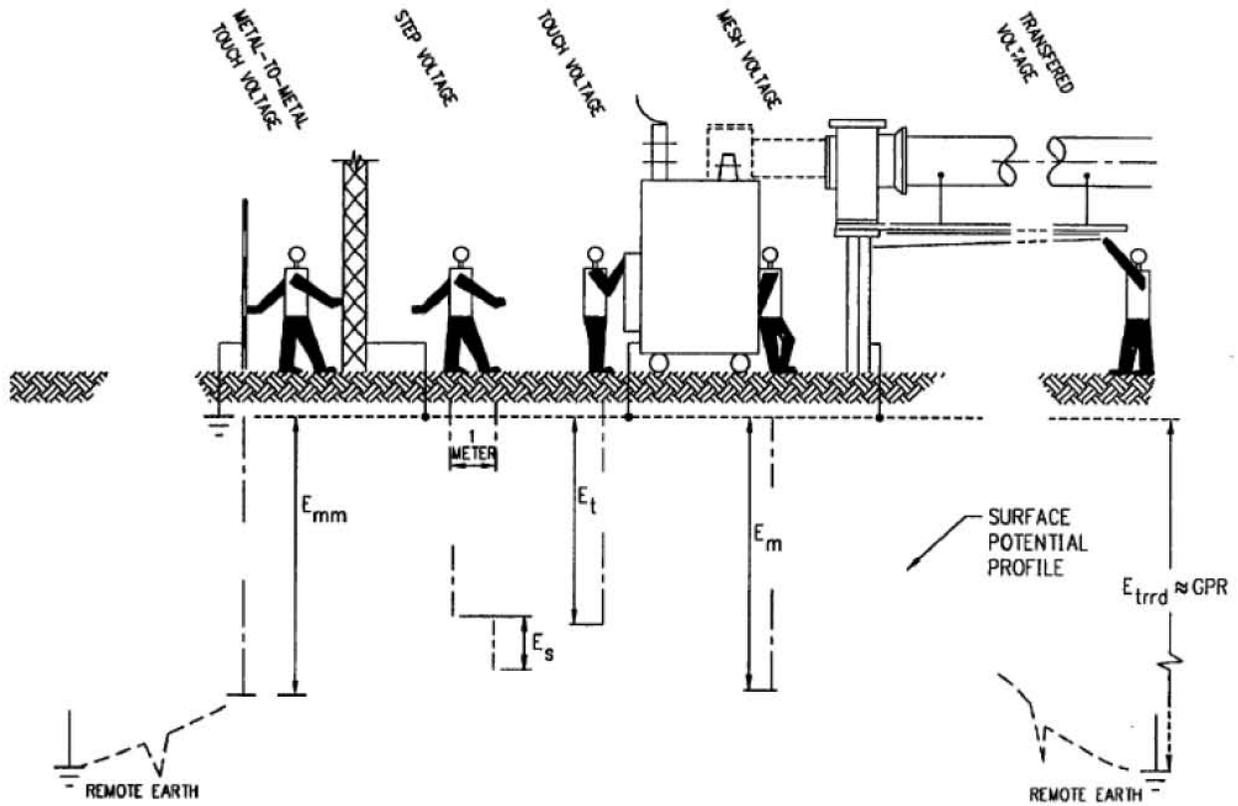


FIG. 2.19 Situaciones de potenciales

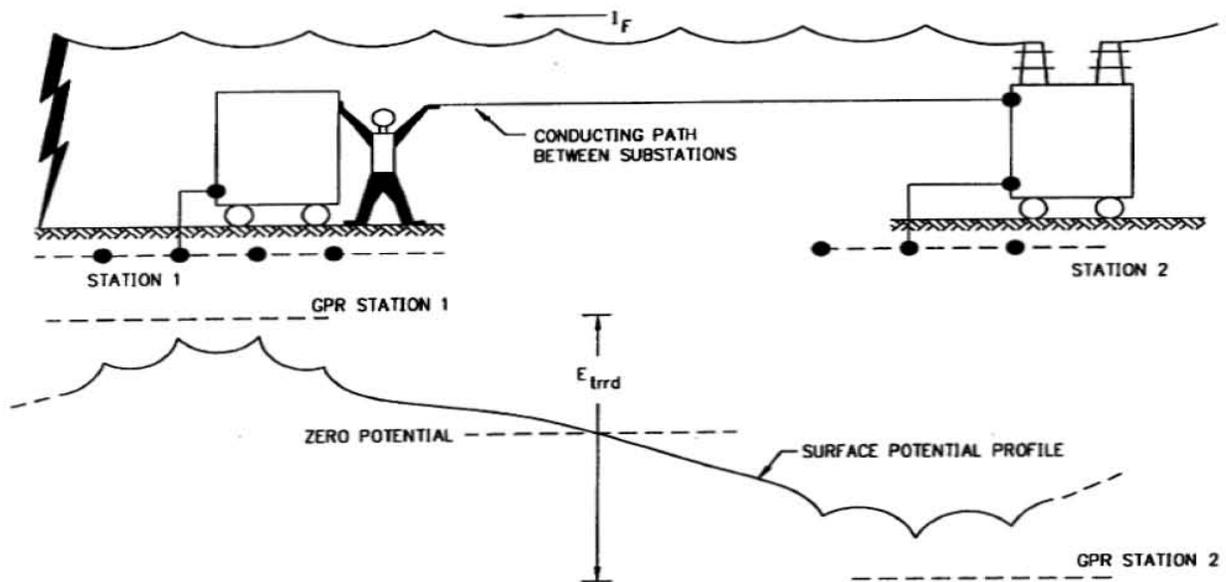


FIG. 2.20 Situación típica de potencial transferido

NUMERO	DESCRIPCION DE LA SUPERFICIE DE LOS MATERIALES	EJEMPLOS DE RESISTIVIDAD (OHM-M)	
		SECO	HUMEDO
1	GRANITO TRITURADO FINO	140×10^6	1300 (tierra con agua 45Ω-m)
2	GRANITO (0.04 m)	4000	1200 (agua lluvia 100 Ω-m)
3	GRANITO (0.02-0.025 m)	---	6513 (10 min después de drenar agua 45 Ω-m)
4	GRANITO MOJADO (0.025-0.05m)	1.5×10^6 a 4.5×10^6	5000 (agua lluvia 100 Ω-m)
5	GRANITO MOJADO (0.05-0.1m)	2.6×10^3 a 3×10^3	1000 (agua lluvia 100 Ω-m)
6	PIEDRA CALIZA	7×10^6	2000 a 3000 (tierra humeda, 45 Ω-m)
7	GRANITO SIMILAR A GRAVA	2×10^6	10000
8	GRANITO SIMILAR A GRAVILLA	40×10^6	8000 (agua lluvia 45 Ω-m)
9	GRANITO MOJADO (0.02m)	190×10^6	10000 o 6×10^6
10	ASFALTO	2×10^6 a 30×10^6	10000 a 6×10^6
11	CONCRETO	1×10^6 a 1×10^9	21 a 200

TABLA 2.5 Resistividad típica de materiales usados como material de superficie en subestaciones. De acuerdo a IEEE Std 80.

2.11 Cálculo de la sección del conductor

Los conductores empleados en el sistema de tierra serán capaces de soportar la máxima corriente de falla durante un tiempo determinado sin llegar a la fusión.

La ecuación que evalúa la ampacidad de cualquier conductor del cual se conocen las constantes de su material es:

$$I = A \sqrt{\left[\frac{TCAP \times 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r} \right] \ln \left[\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a} \right]} \quad \dots 28$$

dónde:

I = Corriente rms en Kiloamperes

A = Sección transversal del conductor en mm²

T_m = Temperatura máxima permisible en °C

T_a = Temperatura ambiente

T_r = Temperatura de referencia para las constantes del material en °C

α_o = Coeficiente térmico de resistividad a 0°C

α_r = Coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia T_r

ρ_r = resistividad del conductor a la temperatura de referencia T_r en Mohm/cm³

K_o = $1/\alpha_o$, ó $(1/\alpha_r) - T_r$

.tc = Tiempo de la duración del flujo de corriente en segundos

TCAP = Factor de capacidad térmica en J/cm³/°C

Nótese que α_r y ρ_r están dados para la misma temperatura de referencia. Se muestran las constantes del material en la Tabla 2.6.

Si el tamaño del conductor está dado en Circular Mils, la ecuación se modifica a:

$$I = 5.0671 * 10^{-5} A \sqrt{\frac{TCAP}{t_c \alpha_r \rho_r}} \ln \left[\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a} \right] \quad \dots 29$$

Description	Material ^a conductivity (% IACS)	α_r factor ^a at 20 °C (1/°C)	K_o at 0 °C (0°C)	Fusing ^a temperature T_m (°C)	Resistivity ^a at 20 °C ρ_r ($\mu\Omega$ -cm)	Thermal ^a capacity TCAP [J/(cm ³ · °C)]
Copper, annealed soft-drawn	100.0	0.003 93	234	1083	1.72	3.4
Copper, commercial hard-drawn	97.0	0.003 81	242	1084	1.78	3.4
Copper-clad steel wire	40.0	0.003 78	245	1084 ^e	4.40	3.8
Copper-clad steel wire	30.0	0.003 78	245	1084 ^e	5.86	3.8
Copper-clad steel rod	17.0	0.003 78	245	1084 ^e	10.1	3.8
Aluminum-clad steel wire	20.3	0.00360	258	657	8.48	3.561
Steel, 1020	10.8 ^b	0.003 77	245	1510	15.90	3.8
Stainless-clad steel rod ^c	9.8	0.003 77	245	1400 ^e	17.50	4.4
Zinc-coated steel rod	8.6	0.003 20	293	419 ^e	20.10	3.9
Stainless steel, 304	2.4	0.001 30	749	1400	72.00	4.0

TABLA 2.6 Constantes de material

Las ecuaciones anteriores pueden ordenarse de tal manera que se calcule el tamaño o calibre del conductor requerido en función de la corriente:

$$A_{mm^2} = I \sqrt{\frac{t_c \alpha_r \rho_r * 10^4}{TCAP} \ln \left[1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_o + T_a} \right) \right]} \quad \dots 30$$

$$A_{cmil} = 1973.52 I \sqrt{\frac{t_c \alpha_r \rho_r * 10^4}{TCAP} \ln \left[1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_o + T_a} \right) \right]} \quad \dots 31$$

La Tabla 2.7, proporcionan una referencia rápida para algunos materiales, suponiendo los siguientes parámetros de diseño:

1. Temperatura ambiente de 40°C.
2. Temperatura límite de fusión del conductor como se muestra en la Tabla 2.6
3. Temperatura máxima de 450 y 250°C para los conectores.

TIEMPO DE LIBERACION DE FALLA	100%	97%	47%	30%	450°C	250°C
(s)	Cu	Cu	CCS	CCS	LIMITE DE TEMPERATURA	
30	38.4	38.7	67	65.8	51.1	64.5
4	14	14.2	20.8	24.0	18.7	23.5
1	7	7.1	10.4	12.0	9.3	11.8
0.5	4.9	5.0	7.4	8.5	6.6	8.3

TABLA 2.7 Tamaño mínimo de conductor (CMILS/A)

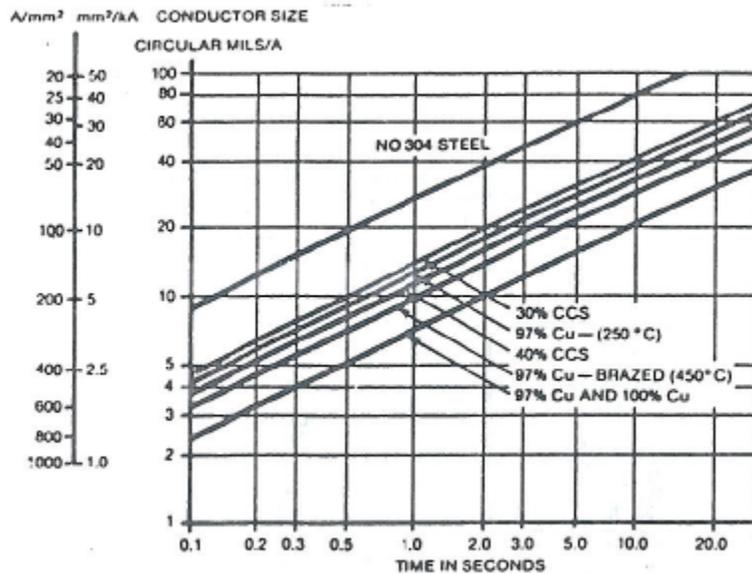


FIG. 2.21 Nomograma para cálculo de conductores

2.11.1. Calibre y diámetro de conductores

Calculo de longitud L:

$$L = L_c + 1.15L_r$$

dónde:

L_c = es la longitud de conductores enterrados en la malla

L_r = representa la longitud total de las varillas de tierra. El factor de multiplicación 1.15 toma en cuenta que la densidad de corriente es mucho mayor en las varillas cerca del perímetro que en los conductores.

CALIBRE		DIAMETRO CONDUCTOR	
Circular Mills	A.W.G.	Pulgadas	Milímetros
1,000,000		1.152	29.26
800,000		1.031	26.18
750,000		.998	25.35
700,000		.964	24.48
600,000		.893	22.68
500,000		.813	20.65
400,000		.728	18.49
350,000		.681	17.29
300,000		.630	16.00
250,000		.575	14.60
211,600	4/0	.528	13.41
167,800	3/0	.470	11.93
133,100	2/0	.419	10.64
105,500	1/0	.373	9.47
83,690	1	.332	8.43
66,370	2	.292	7.41
52,630	3	.260	6.60
41,740	4	.232	5.89
26,240	6	.184	4.67
16,510	8	.146	3.70
10,380	10	.116	2.94
6,530	12	.0915	2.32
4,110	14	.0726	1.84

Tabla 2.8 Diámetro de conductores

Para mallas sin varillas o solamente algunas localizadas en la malla pero lejos del perímetro:

$$L = L_c + L_r$$

Potencial de paso

Descripción:

Se calcula con la siguiente expresión:

$$E_s = \rho K_s K_i I_G / L \quad \dots 33$$

Es el producto del factor geométrico K_s , el factor de corrección K_i , la resistividad del terreno ρ y la densidad de corriente promedio por unidad de conductor enterrado I_G/L .

Cálculo del factor K_s :

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

Para una profundidad menor que 0.25 m.

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} W \right]$$

donde:

$$W = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} \dots + \frac{1}{n-1}$$

Calculo de potenciales en la malla

Potencial de contacto (potencial de malla)

Se calcula con la siguiente expresión:

$$E_m = \rho K_m K_i I_G / L \quad \dots 32$$

Es el producto del factor geométrico K_m , el factor de corrección K_i , la resistividad del terreno ρ y la densidad de corriente promedio por unidad de conductor enterrado I_G/L .

Cálculo del factor K_m :

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

donde:

$K_{ii} = 1$ para mallas con varillas de tierra a lo largo del perímetro o con varillas en las esquinas de la malla o con varillas a lo largo del perímetro y por toda la malla.

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}}$$

Para mallas sin varillas de tierra o mallas con solo algunas varillas, ninguna localizada en las esquinas ni en el perímetro.

$$K_h = \sqrt{1 + h/h_o}$$

donde:

h = Profundidad de la malla en metros
 h_o = 1 metro (profundidad de referencia de la malla)
 D , n y d = se define en la tabla No. 3

Cálculo del factor K_i :

$$K_i = 0.656 + 0.175 n$$

ó para $n \geq 6$

$$W \approx \frac{1}{2(n-1)} + \ln(n-1) - 0.423$$

El uso de las diferentes ecuaciones para K_s depende de la profundidad de la malla, ya que el potencial de paso decrece rápidamente cuando se incremente la profundidad.

2.11.2 Limitaciones en el empleo de las ecuaciones.

Cuando se emplean las ecuaciones anteriores, se recomiendan los siguientes límites para mallas cuadradas o para mallas rectangulares que tengan el mismo número de conductores en ambas direcciones:

$$\begin{aligned} n & \leq 25 \\ 0.25 \text{ m} & \leq h \leq 2.5 \text{ m} \\ D & < 0.25 h \\ D & > 2.5 \text{ m} \end{aligned}$$

También para mallas rectangulares con conductores en ambas direcciones igualmente espaciados (retícula cuadrada), el valor de n para determinar los factores Km y Ki para el cálculo de Em, será la media geométrica del número de conductores en ambas direcciones:

$$n = \sqrt{n_A n_B}$$

El valor de n para determinar los factores Ks y Ki para el cálculo de Es. Será el máximo de nA y nB.

$$n = \text{máx}(n_A n_B)$$

2.11.3. Longitud mínima de conductor en la malla

Puede desarrollarse una ecuación que permita determinar de manera preliminar, la cantidad de conductor necesaria para mantener el potencial de contacto bajo límites seguros.

Para Em < E cont 50 :

$$\frac{K_m K_i \rho I_c}{L} < (1000 + 1.5 C(h, k) \rho_2) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad \dots 34$$

Ordenando la ecuación:

$$L > \frac{K_m K_i \rho I_c \sqrt{t_s}}{(116 + 0.174 C(h, K) \rho_2)}$$

Similarmente para Em < E cont 70:

$$L > \frac{K_m K_i \rho I_c \sqrt{t_s}}{(157 + 0.235 C(h, K) \rho_2)} \quad \dots 35$$

2.12. Procedimiento de diseño

El diagrama a bloques de la FIG.2.22 ilustra la secuencia para diseñar una malla de tierra. Todos los parámetros que se muestran en el diagrama se identifican en el índice presentado en la Tabla 2.9

Paso 1. Datos de campo.

Área ocupada por **la malla de tierra (A) y resistividad de terreno (ρ)**.

El área que ocupará la malla podrá determinar a partir del plano general del arreglo de la subestación, en el cual estarán indicados los límites y la disposición de equipos.

La resistividad del terreno podrá determinarse con alguno de los métodos indicados anteriormente o de datos promedio proporcionado por tablas.

Las pruebas de resistividad determinarán el perfil de resistividad y el modelo a utilizar (suelo uniforme o modelo de dos capas).

Paso 2. Dimensionamiento del conductor.

Cálculo de la corriente de falla. Tiempo de duración de la falla y diámetro del conductor de malla.

El tamaño del conductor se determina con las ecuaciones descritas anteriormente. La corriente de falla podrá calcularse con las con las formulas descritas anteriormente y será la máxima que podrá conducir cualquier conductor en el sistema de tierra. El tiempo de duración de la falla reflejará el tiempo máximo posible para la liberación de la falla, incluido el tiempo de una protección de respaldo.

El diámetro del conductor de la malla se calculará a partir de la sección del conductor.

Paso 3. Calculo de potenciales de paso y de contacto tolerables.

Los voltajes de paso y de contacto tolerables se calcularán con las ecuaciones descritas anteriormente.

La selección del tiempo t_s está basado en el criterio del ingeniero de diseño apoyado en la norma aplicable.

Paso 4. Diseño inicial de la malla.

El diseño preliminar de la malla deberá incluir un conductor rodeando el área completa de la subestación, además de conductores cruzados en dos direcciones formando una retícula para permitir la conexión a tierra de los diferentes equipos.

El espaciamiento entre conductores y la localización de varillas de tierra deberá basarse en la corriente IG y en el área a proteger con la malla.

Paso 5. Resistencia a tierra de la malla.

Puede determinarse un valor preliminar de la resistencia con las ecuaciones indicadas en el punto 3 de este documento.

Para el diseño final pueden encontrarse estimaciones más precisas de esta resistencia, especialmente cuando se usan carillas para alcanzar capas de mayor conductividad en el suelo. Para esta aplicación se utilizaran las ecuaciones para incluir el efecto de dos diferentes resistividades en el cálculo de la resistencia de la red y del grupo de varillas.

Paso 6. Corriente de malla.

La corriente IG se determina por las ecuaciones vistas anteriormente. Para evitar un sobredimensionamiento del sistema de tierra. Deberá usarse en el diseño de la malla solamente aquella parte de la corriente total de falla $3I_0$ que fluye de la malla hacia el terreno (y que contribuye a los voltajes de paso y de malla, y a la elevación de potencial de la malla).

La corriente IG deberá reflejar la peor condición de falla (tipo y localización), el factor de decremento y cualquier expansión futura del sistema eléctrico.

Paso 7. Comparaciones de potenciales.

Si la máxima elevación de potencial de la malla del diseño preliminar está por debajo del valor del voltaje de contacto tolerable, ya no es necesario realizar más cálculos, únicamente se agregarán si se requieren, conductores adicionales para puesta a tierra de equipos.

Paso 8. Calculo de potenciales de paso y de contacto en la malla.

Los potenciales de paso y de contacto en la malla, se calcularán con las ecuaciones descritas en los párrafos anteriores.

Paso 9. Comparación del potencial de contacto en la malla, con el potencial de contacto tolerable.

En este paso se compararán el potencial de contacto en la malla también llamado potencial de malla, con el potencial de contacto tolerable calculado en el paso 3. Si el potencial de malla es menor que el potencial de contacto tolerable, el diseño puede completarse (ver paso 10) y si no, tendrá que modificarse el diseño preliminar (ver paso 11).

Paso 10. Si los voltajes de paso y de contacto en la malla son mayores a los voltajes tolerables, el diseño necesitará solamente de conductores adicionales para puesta a tierra de equipo, sino, tendrá que revisarse el diseño preliminar.

Paso. 11. Si se exceden los límites de los potenciales tolerables, se requerirá de una revisión en el diseño de la malla. Esta revisión incluirá espaciamientos más pequeños entre conductores, varillas de tierra adicionales, etc.

Paso 12. Detalles en el diseño.

Después de satisfacer los requerimientos para cumplir con los voltajes tolerables, deberá revisarse el diseño final incluir conductores que hagan falta cerca de los equipos que se van a conectar a tierra, o adicionar varillas en las bases de los apartarrayos o en los neutros de transformadores, etc.

A continuación se resume en un diagrama de flujos estos pasos y sus parámetros de diseño en las figuras 2.22 y 2.23

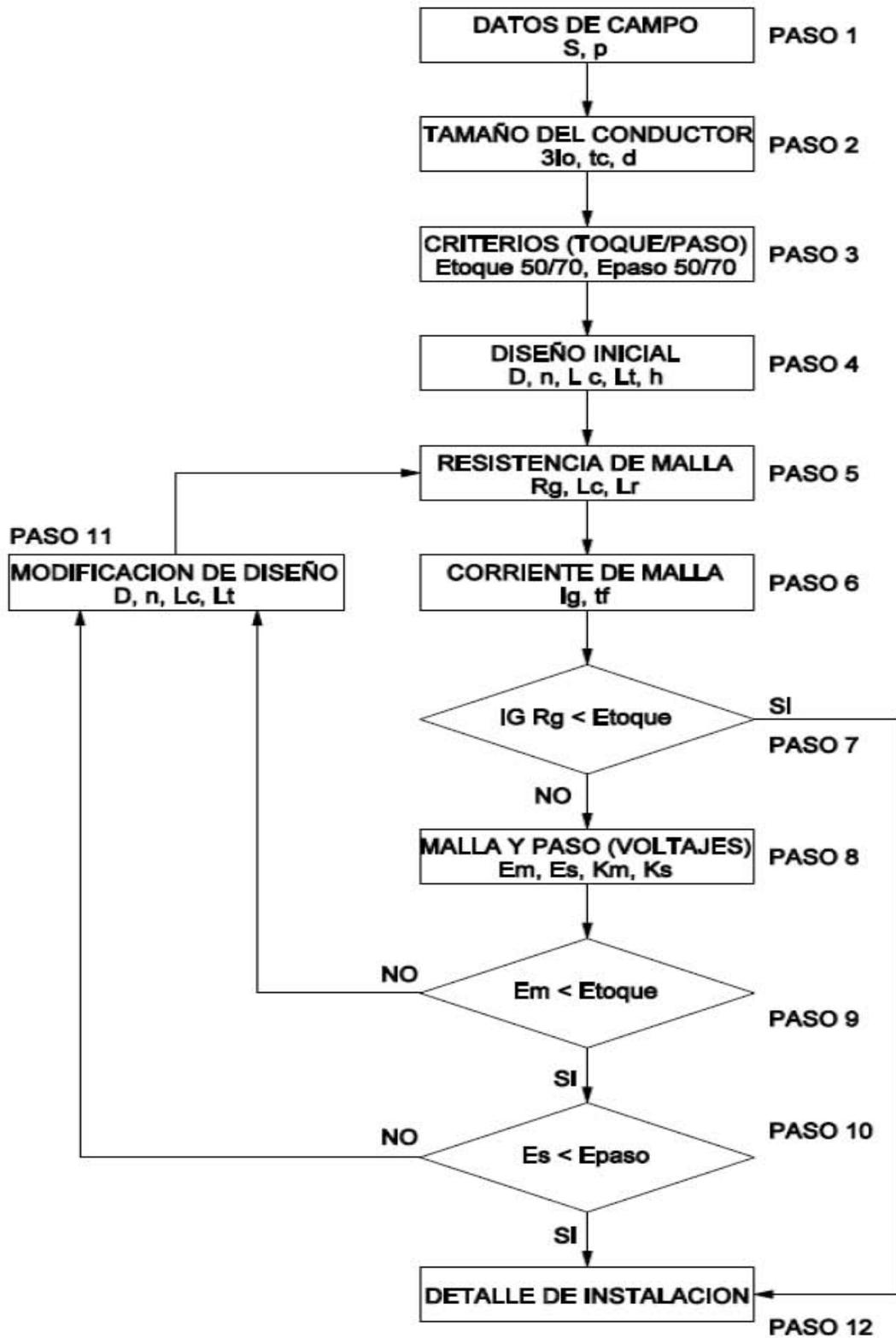


FIG. 2.22 Diagrama de flujo para un diseño de tierras

Symbol	Description
ρ	Soil resistivity, $\Omega\cdot\text{m}$
ρ_s	Surface layer resistivity, $\Omega\cdot\text{m}$
$3I_0$	Symmetrical fault current in substation for conductor sizing, A
A	Total area enclosed by ground grid, m^2
C_s	Surface layer derating factor
d	Diameter of grid conductor, m
D	Spacing between parallel conductors, m
D_f	Decrement factor for determining I_G (see: <i>maximum grid current</i>)
D_m	Maximum distance between any two points on the grid, m
E_m	Mesh voltage at the center of the corner mesh for the simplified method, V
E_s	Step voltage between a point above the outer corner of the grid and a point 1 m diagonally outside the grid for the simplified method, V
$E_{\text{step}50}$	Tolerable step voltage for human with 50 kg body weight, V
$E_{\text{step}70}$	Tolerable step voltage for human with 70 kg body weight, V
$E_{\text{touch}50}$	Tolerable touch voltage for human with 50 kg body weight, V
$E_{\text{touch}70}$	Tolerable touch voltage for human with 70 kg body weight, V
$E_{\text{mm-touch}50}$	Tolerable metal-metal touch voltage for human with 50 kg body weight, V
$E_{\text{mm-touch}70}$	Tolerable metal-metal touch voltage for human with 70 kg body weight, V
h	Depth of ground grid conductors, m
h_s	Surface layer thickness, m
I_G	Maximum grid current that flows between ground grid and surrounding earth (including dc offset), A (see: <i>maximum grid current</i>)
I_E	Symmetrical grid current, A (see: <i>symmetrical grid current</i>)
K	Reflection factor between different resistivities
K_h	Corrective weighting factor that emphasizes the effects of grid depth, simplified method
K_i	Correction factor for grid geometry, simplified method
K_u	Corrective weighting factor that adjusts for the effects of inner conductors on the corner mesh, simplified method
K_m	Spacing factor for mesh voltage, simplified method
K_s	Spacing factor for step voltage, simplified method
L_c	Total length of grid conductor, m
L_M	Effective length of $L_c + L_R$ for mesh voltage, m
L_R	Total length of ground rods, m
L_r	Length of ground rod at each location, m
L_S	Effective length of $L_c + L_R$ for step voltage, m
L_T	Total effective length of grounding system conductor, including grid and ground rods, m
L_x	Maximum length of grid conductor in x direction, m
L_y	Maximum length of grid conductors in y direction, m
n	Geometric factor composed of factors n_a , n_b , n_c and n_d
n_R	Number of rods placed in area, A
R_E	Resistance of grounding system, Ω
S_f	Fault current division factor (split factor) (see: <i>fault current division factor</i>)
t_c	Duration of fault current for sizing ground conductor, s
t_f	Duration of fault current for determining decrement factor, s
t_s	Duration of shock for determining allowable body current, s

TABLA 2.9 Tabla de parámetros de diseño

CAPITULO 3. EJEMPLO PRACTICO, DEL CALCULO DE UN SISTEMA DE TIERRAS.

Con la información descrita en el capítulo 1 y 2 de este documento, ya podremos realizar un cálculo del sistema de tierras en una planta industrial.
 Por lo cual realizaremos un ejemplo y haremos un diseño de tierras.

Del siguiente Diagrama Unifilar (FIG. 3.1), Generar:

- Diagrama de Secuencia Positiva y Negativa.
- Diagrama de Secuencia Cero.
- Corriente de falla monofásica.
- Red de tierras.
- Voltaje que circula en la Red.
- Potencial de Paso y Contacto

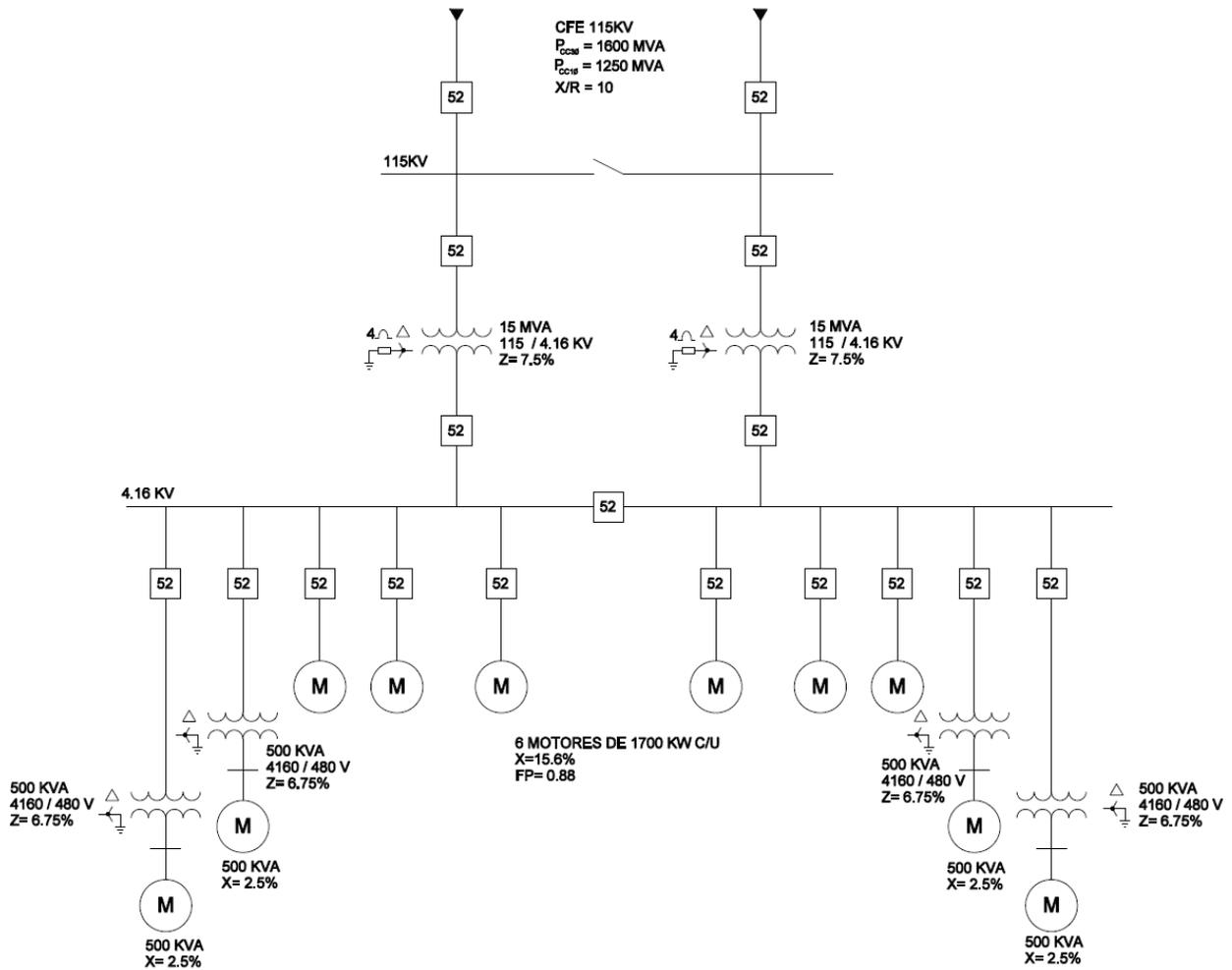


FIG. 3.1 Diagrama unifilar tipico

1) CALCULO DE LAS REACTANCIAS PARA EL DIAGRAMA DE SECUENCIA POSITIVA

Del diagrama unifilar, se considera una **Potencia Base** de:

$$S_B = 15 \text{ MVA}$$

Es recomendable siempre usar la potencia del primer transformador o del transformador más grande del sistema (Unifilar).

Sistema CFE:

$$X = \frac{S_B}{S_{CC3\phi}} \quad S_B = 15 \text{ MVA}; \quad S_{CC3\phi} = 1600 \text{ MVA}; \quad \text{P. U.} = \text{Por Unidad}$$

Sustituyendo:

$$X = \frac{S_B}{S_{CC3\phi}} = \frac{15}{1600} = 0.0094 [\text{P. U.}]$$

Transformador de 15 MVA:

Teniendo una $Z=7.5\%$ tenemos:

$$X = \frac{7.5}{100} = 0.075.$$

Transformadores de 500 KVA:

$$X = X_{T500} \left(\frac{S_B}{S_T} \right) \left(\frac{V_T}{V_B} \right)^2; \text{ Tomando en cuenta } V_T = V_B$$

$$X = 0.0675 \left(\frac{15}{0.5} \right) = 2.025 [\text{P. U.}]$$

Motores de 1700 KW: (1931 KVA)

$$X = X_M \left(\frac{S_B}{S_M} \right); X_M = 15.6\% = \left(\frac{15.6}{100} \right) = 0.1560; S_M = 1700 \text{ KW} = 1931 \text{ KVA} = 1.931 \text{ MVA}.$$

$$X = 0.1560 \left(\frac{15}{1.931} \right) = 1.2113 [\text{P. U.}]$$

Grupo de motores 500 KVA

$$X = X_M \left(\frac{S_B}{S_M} \right); X_M = 25\% = \left(\frac{25}{100} \right) = 0.25; S_M = 500 \text{ KVA} = 0.5 \text{ MVA}.$$

$$X = 0.25 \left(\frac{15}{0.500} \right) = 7.5 [\text{P. U.}]$$

NOTA: El diagrama de secuencia negativa se considera igual al de secuencia positiva porque se supone un sistema balanceado.

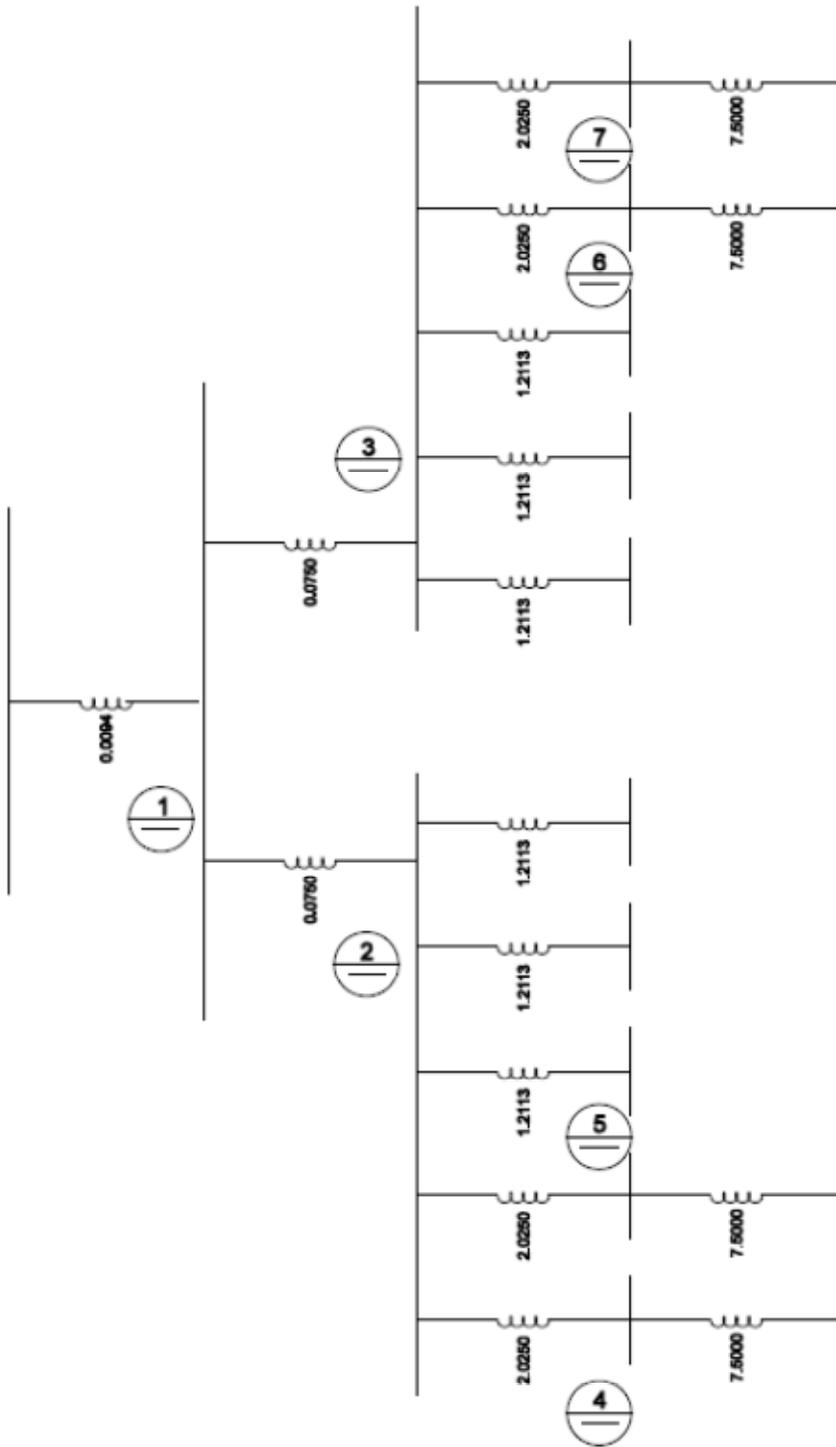


DIAGRAMA DE SECUENCIA POSITVA Y NEGATIVA

2) CALCULO DE LAS REACTANCIAS PARA EL DIAGRAMA DE SECUENCIA CERO DEL DIAGRAMA UNIFILAR.

Se considera una **Potencia de Corto-Circuito** de:

Sistema CFE:

$$I = \frac{POTENCIA (VA)}{(\sqrt{3})(VOLTAJE [V])}$$

$$S_{CC1\phi} = 1250 MVA ; I_{CC1\phi} = \frac{1250 \times 10^3}{(\sqrt{3})115} = 6275.54 A$$

$$S_B = 15 MVA ; I_B = \frac{15 \times 10^3}{(\sqrt{3})115} = 75.3066 A$$

$$I_a = I_{PU} = \frac{I_{CC1\phi}}{I_B} = \frac{6275.54}{75.3066} = 83.3333 [P. U.]$$

$$I_0 = \frac{I_a}{3} = \frac{83.3333}{3} = 27.7778 [P. U.]$$

$$I_0 = \frac{1}{2(X_{1,2}) + X_0}; \quad X_{1,2} = X_B = 0.0094 [P. U.]$$

$$27.7778 = \frac{1}{2(0.0094) + X_0}; \quad 27.7778 = \frac{1}{0.0188 + X_0}; \quad (0.0188 + X_0)27.7778 = 1$$

$$0.5222 + 27.7778 X_0 = 1; \quad X_0 = \frac{1-0.52076}{27.7778};$$

$$X_0 = 0.0172$$

Transformador de 15 MVA:

$$X_0 = X_1 = X_2 = 0.075$$

Transformador de 500 KVA:

$$X_0 = X_1 = X_2 = 0.275$$

Resistencia 4 Ω:

$$Z_B = \frac{4 \cdot 16^2}{15} = \frac{V_B^2}{MVA} = 1.1537$$

$$R_{PU} = \frac{R_{\Omega}}{Z_B} = R = \frac{4}{1.1537} = 3.4671_{P.U.}$$

$$R = 3 \times 3.4671 = 10.4013_{PU}$$

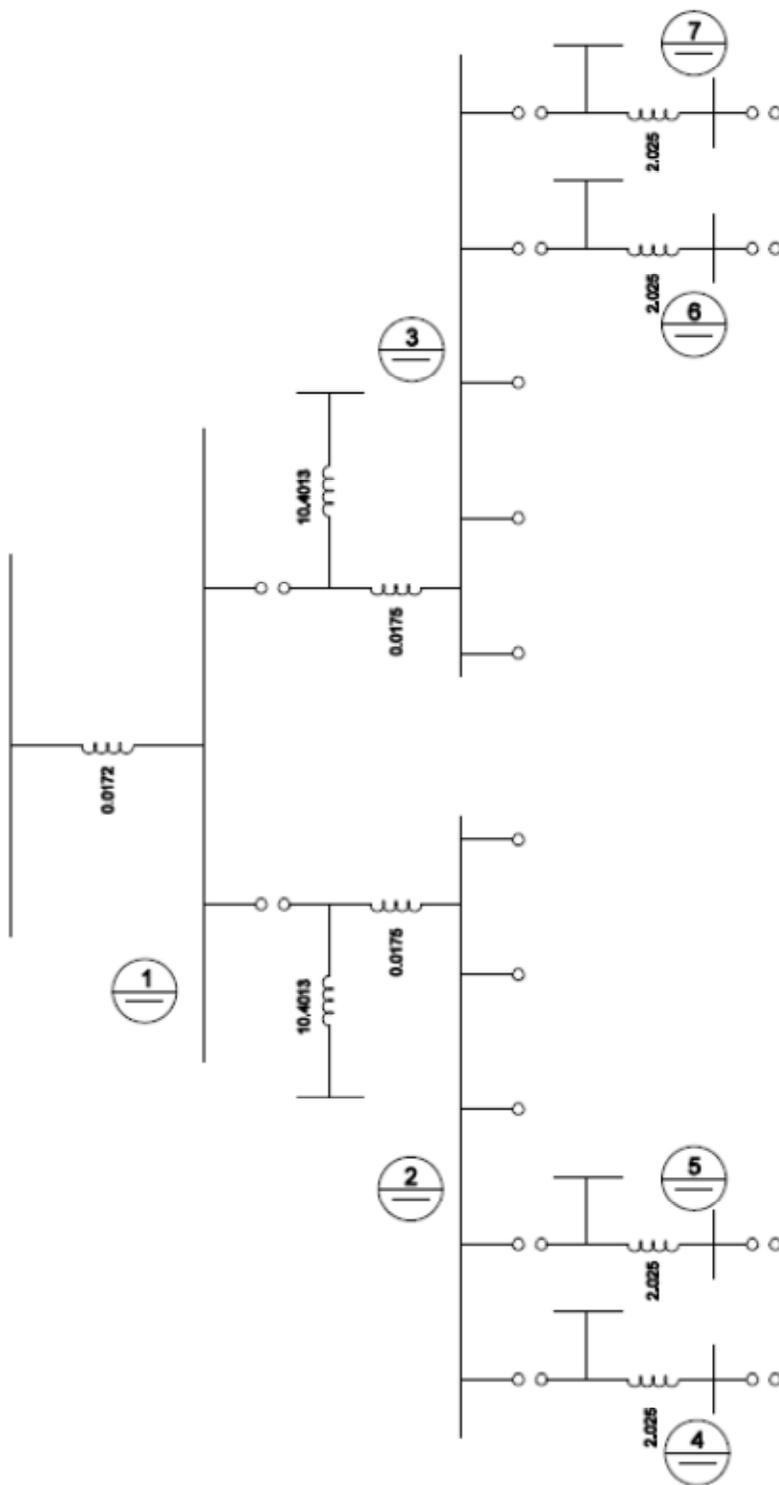


DIAGRAMA DE SECUENCIA CERO

4) CALCULO DE FALLA MONOFÁSICA

“X” Equivalente en el bus (1)

$$S_B = 15 \text{ MVA}$$

$$V_B = 115 \text{ KV}, \quad 4.16 \text{ KV}$$

$$X_1 = X_2 = 0.0094, \quad X_0 = 0.0172$$

$$I_0 = \frac{1}{2(X_{1,2}) + X_0} = \frac{1}{2(0.0094) + 0.0172} = 27.7$$

$$I_a = 3I_0 = 3(27.7) = 83.1 \text{ PU}$$

$$I_B = \frac{S_B \text{ MVA}}{(\sqrt{3})V_B \text{ KV}} = \frac{15 \text{ 000 KVA}}{(\sqrt{3})115 \text{ KV}} = 75.3066 \text{ A}$$

$$I_{A_a} = I_{a.PU} \times I_B = 83.1 \times 75.3066$$

$$I_{A_a} = 6257.97 \text{ [AMP]}$$

“X” Equivalente en bus 2) Y 3)

$$X_1 = X_2 = 0.0687, \quad X_0 = 10.4763$$

$$I_0 = 0.0942$$

$$I_a = 0.2827 \text{ PU}$$

$$I_B = \frac{15000}{(\sqrt{3})4.16} = 2081.79 \text{ A}$$

$$I_{A_a} = I_{a.PU} \times I_B = 0.2827 \times 2081.79$$

$$I_a = 588.42 \text{ [A]}$$

X EQ. EN BUS 4), 5), 6) Y 7)

$$X_1 = X_2 = 1.6462, \quad X_0 = 2.025$$

$$I_0 = 0.1891$$

$$I_a = 0.5642 \text{ PU}$$

$$I_B = \frac{15000}{(\sqrt{3})0.48} = 18042.19 \text{ A}$$

$$I_{A_a} = I_{a.PU} \times I_B = 0.5642 \times 18042.19 = 10179.14 \text{ [A]}$$

5) DISEÑO DE RED DE TIERRAS SUBESTACION

AREA DEL CONDUCTOR (CORRIENTE EN MALLA):

Calculo de D_f : (De acuerdo a la tabla 2.2)

$$X/R = 10, \quad t_c = 0.5 \text{ seg}, \quad \underline{D_f = 1.026}$$

CALCULO DE C_p

(Incremento en I_0) $\underline{C_p = 1.000}$

$$I_G = C_p D_f I_g = 6257.97 \times 1.0260 \times 1.000$$

$$I_G = 6420.67[A]$$

Sección del conductor:

De acuerdo a la Tabla 2.7, podremos usar conductor de cobre (Cu) a 450°C y 250°C para tener un factor de multiplicación y encontrar los Circular Mills del conductor, por lo tanto tenemos:

$A = I_G \times \text{Factor multiplicacion (Tabla 2.744)}$ Circular Mills

Con 450°C

$$A = 6420.67 \times 6.6 = 43\,457.37 \text{ circular mill}$$

Con 250°C

$$A = 6420.67 \times 8.3 = 54\,650.93 \text{ circular mill}$$

De acuerdo a la Tabla 2.8, podremos definir el calibre AWG por Circular Mills resultantes

Calibre **2 awg = 66 370 Circular Mills.**

NOTA:

Si fuera un Diseño para PEMEX utilizaríamos $4/0$ AWG o 211 600 Circular Mills, diámetro $d = 0.084 \text{ m}$

6) DATOS FISICOS

Longitud Subestación (L) = 37.5 m

Ancho Subestación (A) = 22.0 m

Resistividad terreno (ρ) = 200 $\Omega \cdot m$

Resistividad superficial (ρ_s) = 3000 $\Omega \cdot m$

Profundidad de la red (h) = 0.6 m

Superficial $(h_s) = 0.15 \text{ m}$

Longitud de la malla $(l) = 40.5 \text{ m}$

Ancho de la malla $(a) = 25 \text{ m}$

7) VOLTAJE QUE CIRCULA EN LA RED.

$$G_{PR} = I_G R_g$$

$$R_g = \delta \left[\frac{1}{l} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$$

$$R_g = 200 \left[\frac{1}{805} + \frac{1}{(20 \times 1012.5)^{\frac{1}{2}}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0.6 \sqrt{20/1012.5}} \right) \right] = 2.9501 \Omega$$

PRELIMINAR:

$$G_{PR} = I_G R_g = 6584.45 \times 2.9501$$

$$G_{PR} = 19424.51 \text{ [V]}$$

8) POTENCIALES TOLERABLES.

VOLTAJE DE CONTACTO

$$E_{CONT} = (1000 + 1.5 C_P \rho_S) \frac{0.116}{\sqrt{t_S}}$$

$$t_S = t_P = 15 \text{ ciclos a } 60 \text{ Hz} = 0.25 \text{ seg.}$$

$$\text{Factor de reflexión } K = \frac{\delta - \delta_s}{\delta + \delta_s} = \frac{200 - 3000}{200 + 3000} = -0.875 \text{ (de fig. 13)}$$

Tenemos; $K = -0.875$ y $H_s = 0.15$ por lo tanto $C_s = 0.77$

$$E_{CONT} = (1000 + 1.5 (0.77) 3000) \frac{0.116}{\sqrt{0.25}} = 1035.88 \text{ [V]}$$

VOLTAJE DE PASO

$$E_{PASO} = (1000 + 6 C_S(h_s, k) \rho_S) \frac{0.116}{\sqrt{t_S}}$$

$$E_{PASO} = (1000 + 6 (0.77)3000) \frac{0.116}{\sqrt{0.25}} = 3447.52 [V]$$

9) CALCULO DE POTENCIALES EN LA RED.

POTENCIAL DE MALLA

$$E_m = \rho K_M K_i \frac{I_G}{L}$$

$$L_C = 10 \times 40.5 + 16 \times 25.0 = 805 \text{ m (conductor)}$$

$$L_r = 1.15 (22 \times 3.0) = 72.9 \text{ m (varillas)}$$

$$L_T = L_C + L_r = 805 + 72.9 = 880.9 \text{ m}$$

$$n = \sqrt{10 \times 16} = 12.6491$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[l_n \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{kii}{kh} l_n \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[l_n \left(\frac{2.7778^2}{16 \times 0.6 \times 0.0134} + \frac{2.7778 + 2 \times 0.6}{8 \times 2.7778 \times 0.0134} - \frac{0.6}{4 \times 0.0134} \right) + \frac{1}{1.2649} l_n \frac{8}{\pi(2 \times 12.6491 - 1)} \right] = 0.4521$$

$K_{ii} = 1$ Para la malla con varillas de tierra a lo largo del perímetro

$$K_i = 0.656 + 0.172 n$$

$$K_i = 0.656 + 0.172 (12.6491) = 2.8316$$

$$E_m = 200 (0.4521)(2.8316) \left(\frac{6584.45}{880.9} \right)$$

$$E_m = 1913.76 \text{ V}$$

POTENCIAL DE PASO

$$E_s = \rho K_s K_i \frac{I_G}{L}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \times 0.6} + \frac{1}{2.7778 + 0.6} + \frac{1}{2.7778} (1 - 0.5^{14}) \right] = 0.474$$

$$E_s = 200 (0.474)(2.8316) \left(\frac{6584.56}{880.9} \right)$$

$$E_s = 2006.46 \text{ V}$$

10) COMPARANDO

$$E_m > E_{cont}$$

$$1913.76 > 1035.88$$

$$E_s < E_{ms}$$

$$2006.46 < 3447.52$$

Por lo tanto comparando los potenciales observamos que cumplen los potenciales de paso y contacto.

Calculo de R_g

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_{1,2}^2}{R_1 + R_2 - 2 R_{1,2}}$$

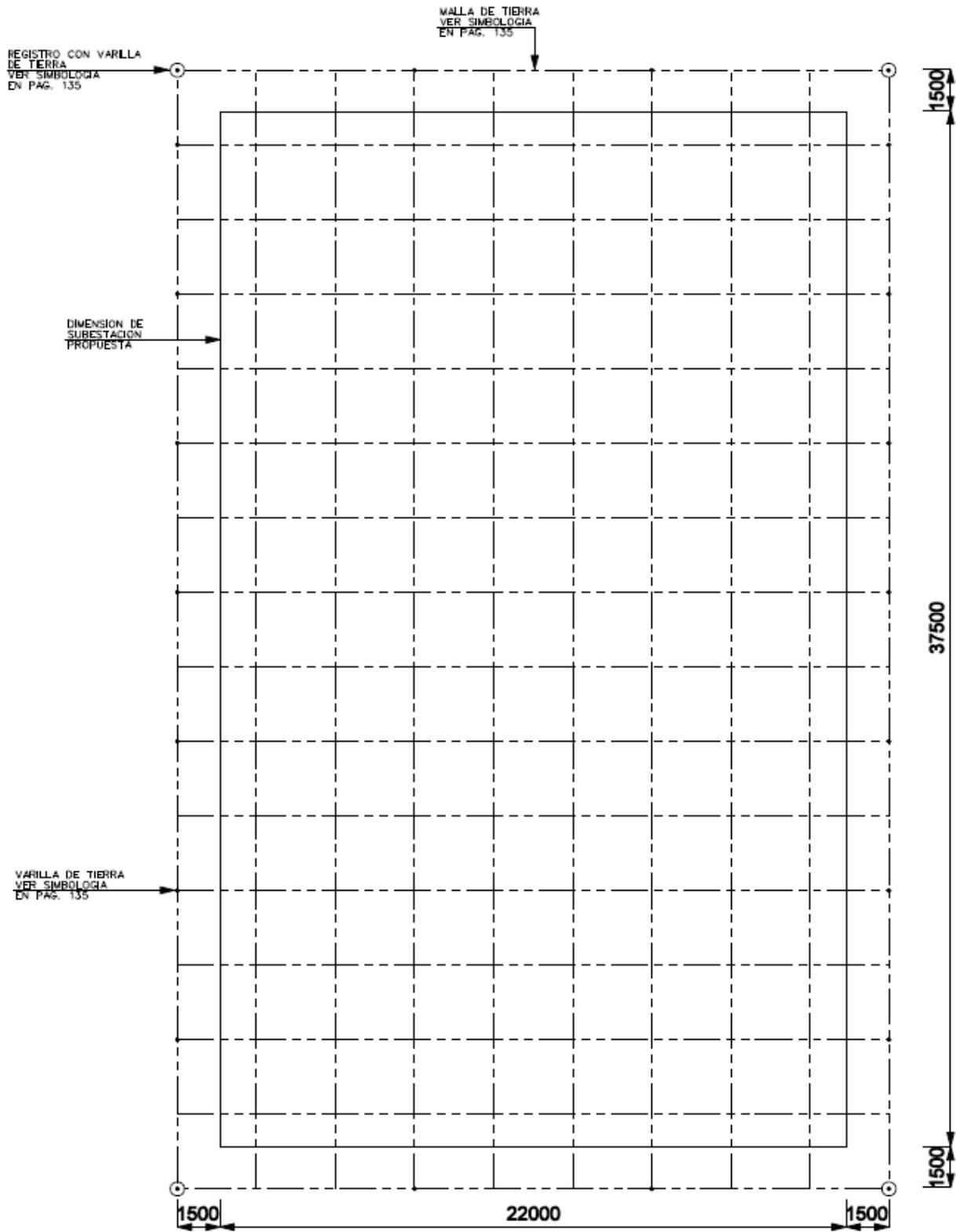
$$R_1 = 1.315$$

$$R_2 = 2.2172$$

$$R_{1,2} = 1.216$$

$$R_g = \frac{(1.315)(2.2172) - (1.216)^2}{1.315 + 2.2172 - 2(1.216)} = 1.3061$$

$R_g = 1.3061 \Omega$ (*Resistencia total del sistema de tierra*)



**DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA DE TIERRAS
10 x 16 MALLADO CON CABLES
22 VARILLAS**

CAPITULO 4. DISEÑO Y MEMORIA DE CALCULO DEL SISTEMA DE TIERRAS DEL PROYECTO C.P.G. CRIOGENICA V Y VI, REYNOSA (PEMEX).

Dentro del Complejo PGPB (PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BASICA) en Reynosa Tamaulipas, se construyeron los nuevos módulos Criogénicos V y VI (de ahí el nombre del proyecto C.P.G. Criogénica V y VI).

Una Criogénica es una planta industrial con un conjunto de técnicas utilizadas para enfriar un material a una temperatura deseada y con una capacidad de almacenamiento de MB (miles de barriles).

Los equipos principales fueron:

- 1 Turbogenerador 13.8kV TG3
- Tableros Metal Clad en 13.8kV y 4.16kV.
- CCM en 480V y 220/127 V.
- UPS en 220/127V.
- Cargadores en 125Vcd.
- 2 trenes de 3 Turbocompresores (motores de 1450 HP)
- 500 motores desde 1 HP hasta 1450HP.
- Sistema de CCTV
- Sistema de F&G
- Sistema SCADA

Las Subestaciones, edificios y estructuras principales fueron:

- Subestacion SE-2 (principal)
- Subestacion SE-21
- Subestacion SE-22
- Subestacion SE-23
- Subestacion SE-211
- Cuarto de Control Central Bunker IV
- Cuarto de baterías (para turbocompresores)
- Rack de Aeroenfriadores (motores de 5 a 45 HP)
- Comedor.
- 4 esferas “Tanques de almacenamiento”

Lo anterior es una referencia de los equipos, edificios, subestaciones que hay en el complejo actualmente.

Dado que el proyecto abarca muchos documentos, tomaremos como ejemplo la “Subestacion 2” para mostrar cómo se ejecuta un diseño de tierras. Sin embargo daremos algunos resultados de las demás subestaciones.

4.1.- Objetivo del proyecto (Proyecto real ejecutado)

El objetivo del proyecto es cubrir el alcance para el desarrollo de la ingeniería de diseño y el detalle del sistema eléctrico, así determinar el calibre de red de tierras, la longitud mínima del conductor de la red, el número de varillas de puesta a tierra, los potenciales de paso y toque de la malla y tolerables de la "CONSTRUCCIÓN DE LAS PLANTAS CRIOGÉNICAS MODULARES 5 Y 6 EN EL CPG BURGOS EN REYNOSA, TAMPAS".

4.2.- Alcance del proyecto (Proyecto real ejecutado)

Para el suministro de la energía eléctrica requerida en el Proyecto, se deberá desarrollar la ingeniería de detalle del sistema eléctrico, incluyendo: el sistema de tierras, materiales y equipo.

La instalación eléctrica deberá ser diseñada para cumplir las siguientes características:

Seguridad al personal y equipo.
Facilidad y accesibilidad de operación y mantenimiento.
Protección al medio ambiente.

El suministro primario de energía eléctrica será a través de un Turbogenerador TG3 a gas para una tensión de generación de 13,800 volts, de la misma capacidad a los existentes (Capacidad de 5 MW), así como la interconexión y sincronización de respaldo por C.F.E.

La capacidad del turbogenerador eléctrico deberá cubrir la demanda de la totalidad de las cargas eléctricas involucradas en el proyecto y que incluye: dos plantas criogénicas modulares, área de almacenamiento (gas LP, naftas ligeras y naftas pesadas), sistemas de contraincendios, compresores de aire, área de tratamiento de efluentes, edificios, central contraincendios, considerando un diez por ciento para cargas futuras y la corrección de la capacidad del conjunto turbina generador a las condiciones de instalación del sitio.

Además se deberá incluir un tablero de sincronización para las nuevas fuentes de generación de energía eléctrica, el cual contara con un sistema de sincronización automática de los TG-3, TG-4 futuro y CFE en las nuevas instalaciones y un enlace en 13.8 KV entre las áreas de generación existente y la nueva. Los Tableros de distribución en 13.8KV, serán del tipo Metal Clad, integrados por interruptores de potencia con cámara de extinción del arco eléctrico en vacío

Los tableros de distribución en 4.16 KV, deben ser METAL- CLAD de aislamiento en aire y con interruptores de potencia en vacío, de acuerdo a IEEE/ C37.20.2.

4.3.- Descripción general

Se contará con generación propia como alimentación principal mediante un turbogenerador a gas y las previsiones tanto en espacio como en capacidad del tablero en 13.8 KV para a futuro instalar e interconectar un segundo turbogenerador de las mismas características del primero, el cual alimentará las cargas eléctricas correspondientes a las plantas criogénicas 7 y 8 Futuras de acuerdo a lo indicado en los Diagrama Unifilar 0001 (ver Anexos).

Contará con una alimentación eléctrica de respaldo proveniente de la Comisión Federal de Electricidad, la cual tendrá la capacidad para alimentar la demanda total de las cargas alcance de este proyecto, incluyendo las cargas correspondientes a edificios administrativos.

4.4.- Subestaciones eléctricas

Se deberá incluir el diseño y construcción de las Subestaciones Eléctricas necesarias para garantizar la funcionalidad de los equipos eléctricos de las plantas y área de almacenamiento, así como alumbrado y de instrumentos, considerando además una subestación de acometida con CFE. Las subestaciones eléctricas deberán ser localizadas lo más cerca posible del centro de carga eléctrica, y la construcción de los edificios debe deberá ser resistente al fuego, para una exposición mínima de una hora, el muro colindante con el cobertizo de transformadores, así como las barreras corta fuego entre transformadores, serán diseñados y construidos de concreto armado, de conformidad con la NFR-048-PEMEX y la NFR-072-PEMEX. El edificio será de dos niveles sobre el nivel de piso terminado; en planta baja se ubicará el cuarto de charolas para los cables que entran a los tableros y centros de control de motores, ubicados en planta alta. El cuarto eléctrico debe tener dos entradas, una para equipos y otra para el personal. Las puertas se deben localizar en los extremos opuestos del cuarto. Las entradas deben tener escalera de concreto, con barandal de fibra de vidrio. El cuarto de cables también debe tener dos puertas para acceso de personal con el mismo arreglo que el cuarto eléctrico. Todas las puertas deben ser de lámina de acero troquelada, no se aceptan de aluminio.

4.5.- Normas y especificaciones

Para el diseño y construcción de los equipos, materiales y sistemas eléctricos, se deberá dar cumplimiento a las Normas y Especificaciones, en orden y prioridad, tal como se indica a continuación:

En primer instancia aplicarán las Normas Oficiales Mexicanas, Normas Mexicanas, Normas Internacionales IEC, Normas de Referencia de PEMEX, Especificaciones Técnicas, Especificaciones particulares del Proyecto, Reglamento de Construcción del Estado de Tamaulipas, (en caso de no existir, aplicará el del Distrito Federal), Normas extranjeras y adicionalmente para efectos de diseño de la subestación eléctrica de acometida, los documentos normalizados que indique la Comisión Federal de Electricidad.

En caso de existir discrepancia entre estas Normas y Especificaciones, regirá la más estricta.

Para el diseño y “CONSTRUCCION DE DOS PLANTAS CRIOGENICAS MODULARES 5 Y 6 EN EL CPG BURGOS EN REYNOSA, TAMPS.” y de acuerdo con el alcance indicado, así como a las características, condiciones y requerimientos propios del proyecto, se deberá cumplir con las Normas y Especificaciones indicadas a continuación:

Normas:

- | | | |
|---|--------------------|---|
| - | NOM-001-SEDE-2005 | NORMA OFICIAL MEXICANA |
| - | NMX-J-395-1994 | CONECTORES DE COBRE |
| - | NRF-048-PEMEX | DISEÑO DE INSTALACIONES ELECTRICAS |
| - | NRF-070-PEMEX-2004 | SISTEMA DE PROTECCION A TIERRA PARA INSTALACIONES PETROLERAS |
| - | ANSI/NFPA 70 | CODIGO NACIONAL ELECTRICO 1999 NEC (por siglas en ingles) |
| - | IEEE-STD80 | GUIA DE SEGURIDAD PARA ATERRIZAMIENTO DE SUBESTACIONES EN CA. |

4.6.- Diseño del sistema de tierra

4.6.1 Sistema de tierras:

Con el propósito de satisfacer los requerimientos generales que marcan las normas NOM en su artículo 250 “**Puesta a Tierra**”, se implementará un sistema de tierras eléctrica de acuerdo a las características que se indican en la norma de referencia NRF-048-PEMEX, IEEE 80- 2000.

La resistividad promedio del terreno (Ohms-metro), será de acuerdo al estudio de resistividad del terreno se deberá complementar el estudio de resistividad, realizando los sondeo eléctricos verticales necesarios en conformidad con la distribución de las áreas indicadas en el plano de distribución general; así como en las áreas de distribución de equipos, de acuerdo a las recomendaciones del Licenciador de las plantas de proceso.

Los puntos de sondeo para la determinación de la resistividad del terreno, se deberán definir conforme a la ubicación de los principales equipos eléctricos (Subestación Eléctrica, cuarto de tableros, casa de bombas, cuarto de control, etc.).

En equipos de proceso con controladores electrónicos a base de PLC, la ingeniería debe considerar sistemas independientes pero interconectándose a la red general de tierras o lo requerido por el fabricante del equipo.

Resistencia máxima permisible de la red de tierra (en Ohms) en subestaciones eléctricas no será mayor de 5 Ohms.

El calibre del conductor principal de la red de tierra en áreas generales y de proceso, será del 2/0 AWG.

El calibre del conductor principal de la red de tierra en Subestaciones eléctricas será del 4/0 AWG.

El tipo de Conectores a utilizar en las redes de tierra será de Cobre a compresión irreversible excepto en los registros para mantenimiento.

4.6.2 NRF-048-PEMEX-2003

Numeral 8.11. Sistema de tierras y pararrayos (de la NRF-048-PEMEX)

Sistema de Tierras.

Todas las instalaciones de PEMEX deben contar con un Sistema de Tierras para la seguridad del personal y de las instalaciones.

El diseño de la red de tierras del sistema eléctrico llamado "Sistema general de Tierras" debe estar de acuerdo y ser calculado con El Estándar IEEE 80-2000, IEEE Std 142-1991 ó equivalentes, con el artículo 250 de la Norma NOM-001-SEDE-1999 y requisitos incluidos en esta norma de referencia.

El prestador de servicios debe efectuar el estudio de la resistividad del terreno donde se ubicarán las nuevas instalaciones.

El sistema general de tierras incluye la conexión a tierra del neutro del sistema eléctrico, la conexión a tierra de gabinetes de equipo eléctrico, conexión a tierra de estructuras y partes metálicas no portadoras de corriente.

En este artículo se mencionan requerimientos para el aterrizaje de sistemas electrónicos (sistema de control digital, telecomunicaciones, centro de computo) así como protección por descargas atmosféricas (pararrayos).

El neutro de los sistemas eléctricos en PEMEX es de acuerdo a lo siguiente:
220/127 VCA Sólidamente aterrizado 480 VCA Sólidamente aterrizado 480 VCA
Neutro Flotante (para refinerías y Centros Procesadores de Gas) 4160 VCA
Resistencia de puesta a tierra 13800 VCA Aterrizado sólidamente o mediante alta impedancia.

Para el caso de conexión de neutros a tierra, esta conexión debe ser realizada con conductores aislados que tengan el mismo nivel de aislamiento que el voltaje de fases del sistema a aterrizar.

El valor de la resistencia del sistema general de tierras no debe ser mayor de 10 ohms para edificios, plantas de proceso y subestaciones. En instalaciones con resistividad de terreno de 1000 a 3000 ohm/m se acepta que el valor de resistencia de la red sea hasta de 25 ohms, y para instalaciones con resistividad de terreno mayor a 3000 ohm/m el valor de resistencia de la red sea hasta de 50 ohms.

Este valor debe lograrse con el calibre y longitud del conductor principal y derivado así como la cantidad y tipo de electrodos de puesta a tierra, sin adición de compuestos químicos en los registros de tierras. En el diseño de la red debe cuidarse de no exceder las tensiones de paso y de contacto permisibles por el cuerpo humano.

Para los sistemas electrónicos se debe diseñar una red de tierras independiente del sistema general de tierras y el valor máximo de la resistencia a tierra debe ser de 1 ohm, sin embargo las dos redes de tierras deben interconectarse entre ellas en un punto de la red con conductor aislado de un calibre menor al de la red, calibre 6 AWG como mínimo, para evitar diferencias de potenciales entre ellas. Tal interconexión debe considerarse desde etapa de proyecto y permanecer interconectadas a menos que exista un requerimiento específico y por escrito del suministrador del sistema electrónico, de no garantizar su correcta operación.

La puesta a tierra de sistemas y circuitos eléctricos de 600 volts y mayores debe estar de acuerdo a las secciones 250-151 al 250-153 de la NOM-001-SEDE.

El sistema de tierras debe tener los siguientes elementos:

Malla a base de conductor de cobre desnudo semiduro, electrodos de puesta a tierra preferentemente de varilla copperweld de 3 mts de longitud, conectores de compresión o soldables, y registros de tierras para poder efectuar mediciones.

La malla principal en las subestaciones debe formarse con conductor de cobre desnudo, temple semiduro, con un calibre de acuerdo al cálculo y no menor de 4/0 AWG.

La malla principal en edificios y/o plantas de proceso, debe formarse con conductor de cobre desnudo temple semiduro con calibre de acuerdo al cálculo y no menor de 2/0 AWG.

En las subestaciones los conductores paralelos de la malla de tierra, no deben tener una separación mayor a 7 metros y en las áreas de plantas de proceso, no mayor de 15 metros.

La malla de tierras debe ser enterrada a una profundidad de 0.6 m del nivel de piso terminado.

Todo equipo o dispositivo eléctrico, debe ser conectado al sistema general de tierras con conductor de cobre desnudo semiduro, el calibre del conductor debe ser el indicado de acuerdo a la capacidad del dispositivo de protección (ver tabla 250.95 de la norma NOM-001-SEDE), sin embargo el calibre Mínimo aceptado es de 2 AWG.

Además deben ser conectadas al sistema general de tierras los siguientes tipos de instalaciones con conductor de cobre desnudo semiduro calibre 2 AWG:

- Partes metálicas no portadoras de corriente de los equipos eléctricos.
- Estructuras de acero.
- Equipos de Proceso.
- Equipos dinámicos accionados por motor eléctrico.
- Tuberías de proceso y servicios auxiliares.
- Tanques de almacenamiento y recipientes.

La conexión a tierra de este tipo de instalaciones debe ser al sistema general de tierras. Si el equipo es sólidamente montado en estructuras metálicas o bastidor, no requiere ser individualmente conectado a tierra.

Para recipientes metálicos, tanques de almacenamiento y equipos industriales o de proceso que no tengan preparación para conexión a tierra, se debe usar una placa soldada de 3/8" (9.5 mm) como mínimo para la instalación de un conector de cobre, que será tipo mecánico para equipos movibles y soldables o de compresión para equipos fijos.

Para la puesta a tierra de los equipos se debe usar conector mecánico de cobre, y la conexión al sistema general de tierras se debe usar conector tipo de compresión del mismo material o soldable. Todos los tanques de almacenamiento con capacidad hasta de 200 MB (mil barriles), se deben conectar a tierra cuando menos en cuatro puntos opuestos del tanque) y los tanques de 500 MB, se deben conectar a tierra al menos en 8 puntos.

Los tanques esféricos de almacenamiento a presión de 10, 15, y 20 MB (mil barriles) deben conectarse a tierra en al menos dos puntos.

Las estaciones de botones para arranque y paro de los motores deben ser conectados a tierra con conductor de cobre calibre 2 AWG.

En las charolas para conductores de la subestación, se debe instalar en toda su trayectoria un conductor de cobre desnudo calibre 2 AWG, debidamente sujeto en la charola y conectado en sus extremos a la red de tierras.

Para protección mecánica del conductor de conexión a tierra que sale de la red subterránea hacia los equipos, dispositivos o estructuras, debe ser alojado en un tramo de tubo conduit, incluyendo su monitor. La salida del conductor de conexión a tierra no debe obstruir la circulación ni áreas de trabajo. Las estructuras de subestaciones tipo exterior así como los equipos instalados, deben conectarse a tierra.

Las cercas metálicas y los postes de las esquinas, deben conectarse a tierra.

Las pantallas electrostáticas de los conductores en media tensión, deben conectarse a tierra con conductor de cobre calibre 2 AWG en el extremo del alimentador a la llegada de la subestación, y donde cuente con transformador de corriente tipo dona para protección por falla a tierra, las pantallas se deben retornar a través de la dona para anular las corrientes generadas por inducción externa.

Las tensiones inducidas en las pantallas en condiciones normales de operación no deben ser mayores de 55 volts, de acuerdo con sección 923-3 inciso (d) de NOM-001-SEDE.

En racks de tuberías y trayectorias paralelas en plantas de proceso, se deben conectar a tierra a la entrada de la planta de proceso y a intervalos no mayores de 50 metros.

Se debe efectuar puentado de tuberías cuando las bridas de las tuberías de proceso, sean eléctricamente aisladas, excepto cuando las tuberías de llegada tengan junta aislante monoblock y cuenten con protección catódica.

El sistema de canalizaciones eléctricas debe tener continuidad eléctrica por lo que el puentado no es necesario.

4.6.3 NRF-011-CFE

Generalidades

Las plantas y subestaciones deben de contar con un sistema de tierra al cual se conecta a todo y cada uno de los elementos de la instalación que requieran ser puestos a tierra para:

- a) Proveer un medio seguro para proteger al personal que se encuentre dentro o en la proximidad del sistema de tierra o de los equipos conectados a tierra, de los riesgos de una descarga eléctrica debida a condiciones de falla o por descarga atmosférica.
- b) Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de las corrientes a tierra, ya sean debidas a una falla a tierra del sistema o a la propia operación de algunos equipos.
- c) Proveer un medio para disipar las corrientes eléctricas indeseables a tierra, sin que se excedan los límites de operación de los equipos.
- d) Facilitar la operación de los dispositivos de protección, para la eliminación de fallas a tierra.
- e) Proveer un medio de descarga y desenergización de equipos antes, de proceder a las tareas de mantenimiento.
- f) Dar mayor confiabilidad y seguridad al servicio eléctrico

Los elementos principales del sistema de tierras son:

- a) Red de tierra enterrada, a una profundidad que usualmente varía de (0.3 – 1.5 m), sin ser esto limitativo puesto que puede depender del tipo de terreno.
- b) Electrodo verticales (varillas para tierra) conectados a la red para tierra y clavados verticalmente en el terreno, se recomienda al menos un electrodo vertical (varilla para tierra) en cada esquina de la red.

4.7.- Diagrama unifilar

Para Diagrama Unifilar general Ver pág. 125.

4.8.- Área del proyecto

Para Área del proyecto general Ver pág. 127.

Plano llave SE-2

Para plano llave SE-2 Ver pág. 129.

Red de tierras, Planta Baja SE-2

Para plano de Red de tierras, Planta Baja SE-2 Ver pág. 131.

Red de tierras, Planta alta SE-2

Para plano de Red de tierras, Planta alta SE-2 Ver pág. 133.

Simbología y notas generales

Para plano de Simbología y notas generales Ver pág. 135.

Arreglo de equipo SE-2

Para plano de Arreglo de equipo SE-2 Ver pág. 137.

4.9 Corto circuito y Calculo de Tierras ETAP

Para la realización del estudio de Corto Circuito y cálculos de los sistemas de tierras. PEMEX, solicita oficialmente que se realice en un software reconocido internacionalmente para su cálculo. El software utilizado para ese proyecto es el “**ETAP**”.

ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) es un software de Análisis de Sistemas de Potencia, el cual sirve como herramienta de apoyo en el diseño de los mismos. En este caso se utilizará únicamente el módulo para el cálculo de red de tierras.

Para el cálculo de redes de tierras, el programa ETAP contiene un módulo llamado “Ground Grid Design”, que incluye el cálculo de la red de tierras, el cual se puede realizar mediante el método de la publicación **ANSI/IEEE Std 80-2000, ANSI/IEEE Std 665-1995 y el método llamado “Elemento finito”**, el cual calcula los potenciales punto por punto dentro y fuera de la malla.

Este último método está de acuerdo a lo recomendado por la IEEE Std 399-1997, en el apartado Ground Mat Studies capítulo 14.

El programa realiza las siguientes funciones:

- a. Proporciona mensajes de alerta si el conductor no es el correcto para la corriente de corto circuito que se indique.
- b. Calcula los potenciales de paso y de toque para cualquier configuración rectangular de la malla, con o sin varillas de puesta a tierra. (Método de la IEEE-80).
- c. Calcula los potenciales tolerables de paso y de malla, comparando con los potenciales actuales de toque y de malla, utilizando el método de la IEEE 80.
- d. Proporciona un archivo gráfico para los voltajes de toque y de paso, así como una tabla de los valores de voltajes de paso y de contacto en toda el área de la malla, utilizando el método de la IEEE-80.
- e. La resistencia de la malla y el gradiente de potencial de malla (GPR).

Primero se tiene que modelar en el ETAP toda la arquitectura del sistema eléctrico (Diagrama Unifilar) del proyecto a ejecutar (Ver IMAGEN 4.1). Una vez modelado todo el sistema se cargan valores a los diferentes equipos y componentes eléctricos.

Ya con los datos cargados podremos generar el estudio que se requiera (Corto Circuito, Flujo de cargas, Arranque de Motor, Sistema de tierra, etc.).

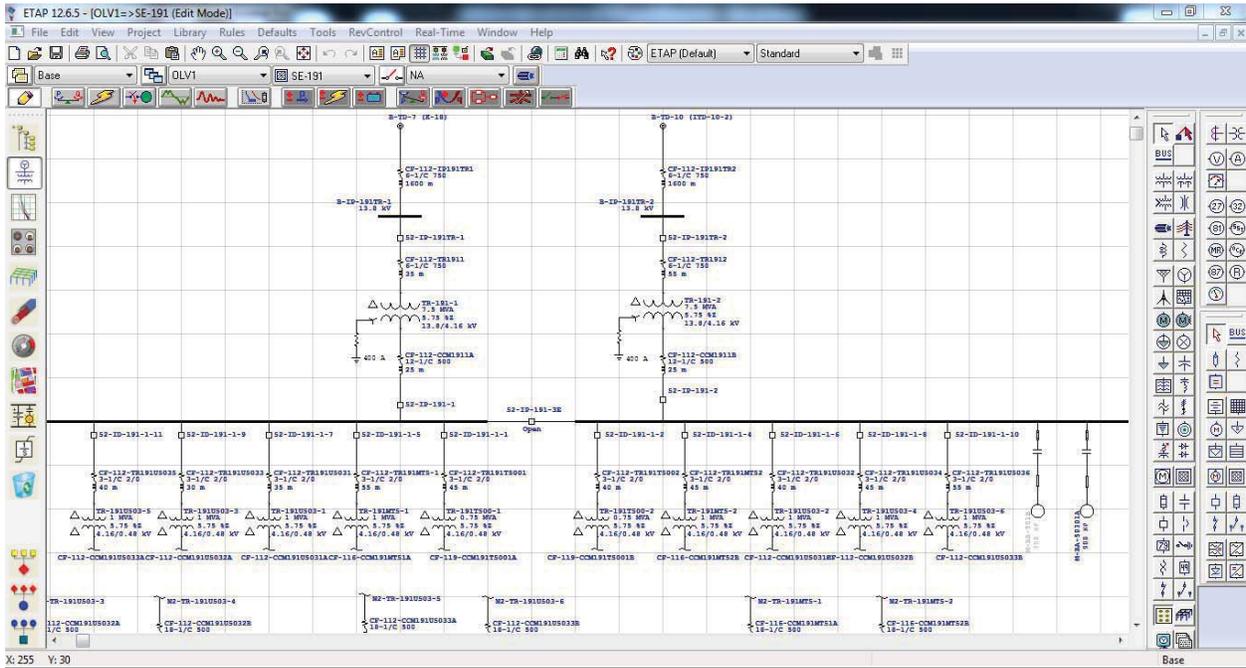


IMAGEN 4.1 Ejemplo de un modelado Eléctrico en el ETAP

Para generar el cálculo de Corto Circuito, seleccionamos el Modulo “Short-Cuircuit Analysis” y definimos el análisis requerido “ANSI L-T”.

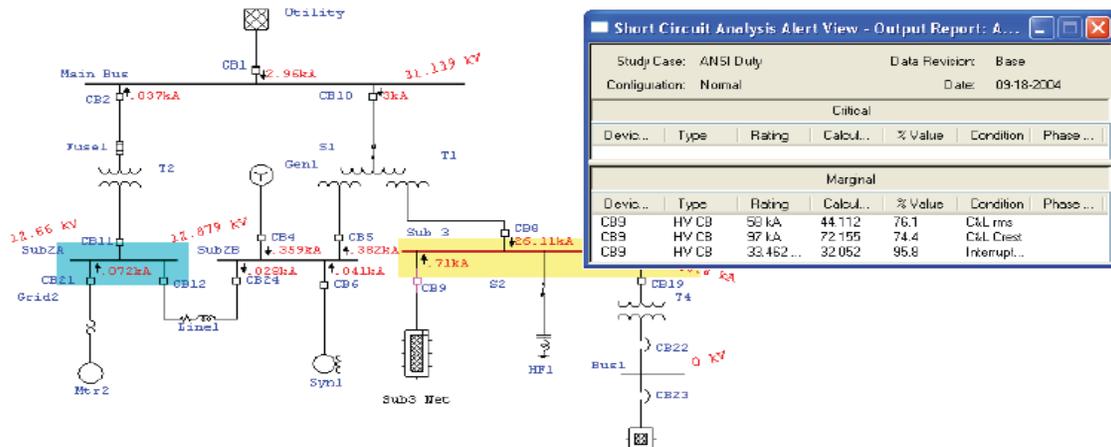


IMAGEN 4.2 Ejemplo de un resultado de Corto Circuito en ETAP

Para generar el cálculo del sistema de tierras, seleccionamos el Modulo de “Ground Grid System” y capturamos valores requeridos. (Ver IMAGEN 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6).

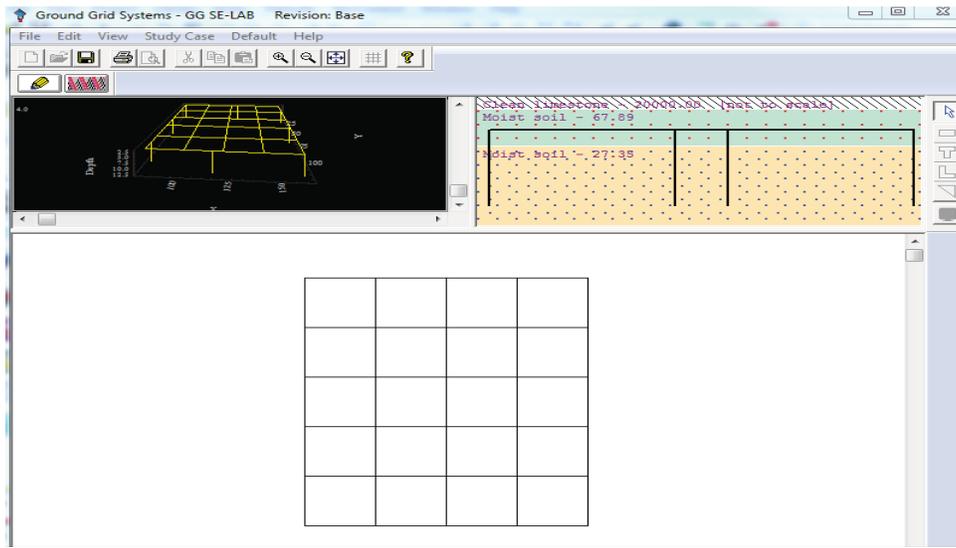


IMAGEN 4.3 Ejemplo de una ventana de trabajo del sistema de tierras en ETAP

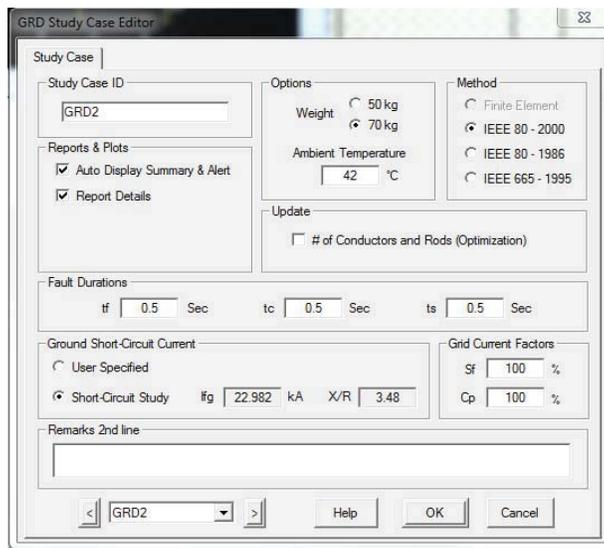


IMAGEN 4.4 Ejemplo de una ventana de captura de datos principal para un estudio de tierras en ETAP

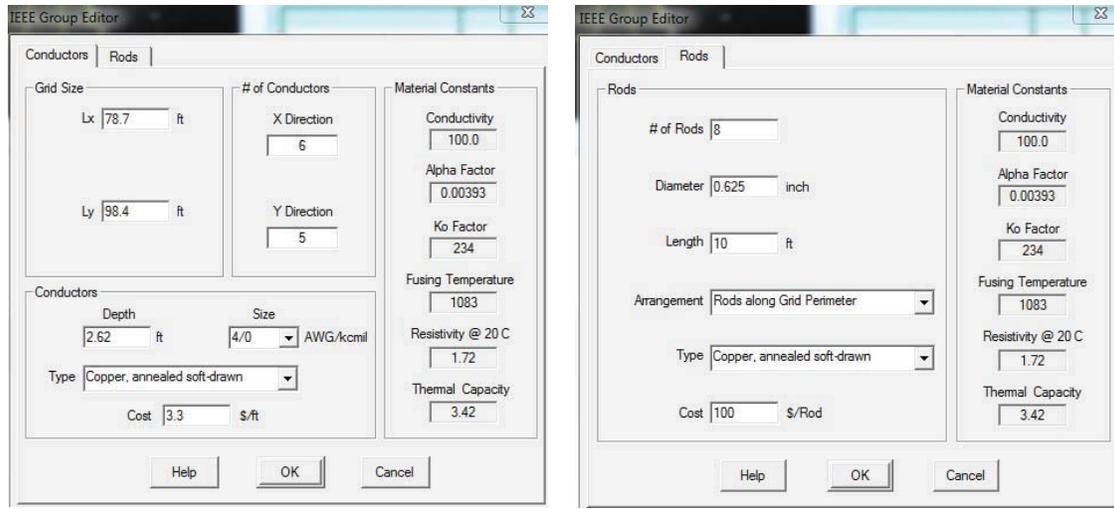


IMAGEN 4.5 Ejemplo de ventanas de captura para el cable y varillas del sistema de tierras en ETAP

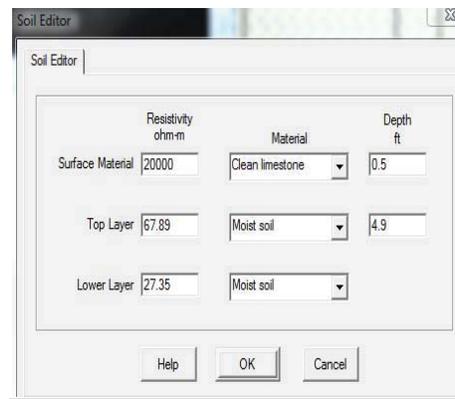


IMAGEN 4.6 Ejemplo de una ventana de captura del terreno del sistema de tierras en ETAP

Una vez capturada toda la información solicitada, se hace una corrida en el software y nos da los resultados, Si hubiera algún problema o un incumplimiento con voltajes de toque y paso nos da una alerta (Ver IMAGEN 4.7) la cual nos sirve de guía para ver dónde está el error y corregirlo. Si no hay ningún error (o después de corregirlo) el ETAP nos da 3 hojas de resultado, las cuales contienen:

- Hoja 1.- Diseño propuesto del sistema de tierras (Numero de varillas, conductores, etc.). Ver IMAGEN 4.8.
- Hoja 2.- Datos de referencia del análisis (Corriente de Corto Circuito, tiempo de liberación de falla, etc.). Ver IMAGEN 4.9.
- Hoja 3.- Resultado del análisis (Voltaje de paso, Voltaje de toque, factor de reflexión, Cs, Df, etc.). Ver IMAGEN 4.10.

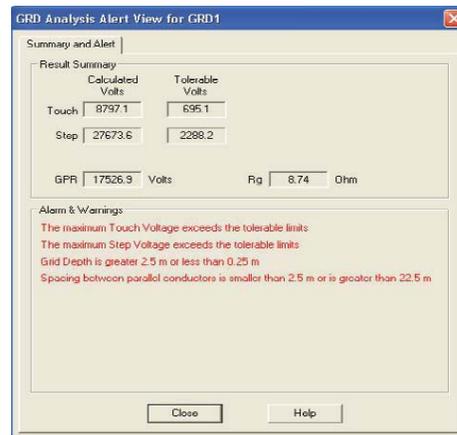


IMAGEN 4.7 Ejemplo de una ventana de resultados con errores en el cálculo del sistema de tierras en ETAP

Project:	SE COLOCA NOMBRE DEL PROYECTO	ETAP	Page:	1	
Location:	COLOCAR UBICACION DEL PROYECTO		Date:	12-12-2017	
Contract:	COLOCAR NUMERO DE CONTRATO DE PROYECTO		SN:	NOMBRE EMPRESA	
Engineer:	INICIALES DE INGENIERO RESPONSABLE	Study Case:	INDICAR SUBESTACION	Filename:	NOMBRE PROYECTO
				Revision:	NUMERO DE REVISION

Electrical Transient Analyzer Program

Ground Grid Systems

IEEE Std 80-2000

Number of Ground Conductors: 11

Number of Ground Rods: 8

Total Length of Ground Conductors: 964.00 ft

Total Length of Ground Rods: 80.00 ft

Total Computational Time: 0 minutes

Frequency: 60.0

Unit System: English

Project Filename: INDICAR NOMBRE DE PROYECTO

IMAGEN 4.8 Ejemplo de Hoja 1, Diseño propuesto del sistema de tierras en ETAP

Project: SE COLOCA NOMBRE DEL PROYECTO ETAP
 Location: COLOCAR UBICACION DEL PROYECTO
 Contract: COLOCAR NUMERO DE CONTRATO DE PROYECTO
 Engineer: INICIALES DE INGENIERO RESPONSABLE StudyCase: INDICAR SUBESTACION

Page: 2
 Date: 12-12-2017
 SN: NOMBRE EMPRESA
 Filename: NOMBRE PROYECTO
 Revision: NUMERO DE REVISION

Ground Grid Input Data

System Data:

Freq. Hz	Weight kg	Ambient Temp. °C	Short-Circuit Current				Fault Duration (Seconds)		
			Total Fault Current kA	X/R	Sf Division Factor %	Cp Projection Factor %	Tf for Total Fault Duration	Tc for Sizing Ground Conductors	Ts for Available Body Current
60.0	50	40.00	2.000	1.00	100.0	100.0	0.50	0.50	0.50

Soil Data:

Surface Material			Upper Layer Soil			Lower Layer Soil	
Material Type	Resistivity Ohm.m	Depth ft	Material Type	Resistivity Ohm.m	Depth ft	Material Type	Resistivity Ohm.m
Clean limestone	20000.0	0.500	Moist soil	67.9	4.90	Moist soil	27.4

Material Constants:

Conductor/Rod	Type	Conductivity %	α r Factor @ 20 °C 1/°C	K0 @ 0 °C	Fusing Temperature °C	Resistivity of Ground Conducto @ 20°C micro ohm.cm	Thermal Capacity Per Unit Volume J/(cm ³ .°C)
Conductor & Rod	Copper, annealed soft-drawn	100.0	0.00393	234.0	1083.0	1.72	3.42

Rod Data:

Diameter inch	Length ft	No. of Rods	Arrangement	Cost \$/Rod
0.625	10.00	8	Rods along Grid Perimeter	100.00

Grid Configuration:

Conductor Size AWG/kcmil	Depth ft	Grid Length ft		Number of Conductors		Separation ft		Cost \$/ft
		Lx	Ly	in X Direction	in Y Direction	in X Direction	in Y Direction	
4.0	2.62	78.70	98.40	6	5	19.7	19.7	3.30

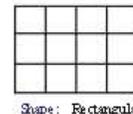


IMAGEN 4.9 Ejemplo de Hoja 2, Datos de referencia del análisis del sistema de tierras en ETAP

Project: SE COLOCA NOMBRE DEL PROYECTO **ETAP**
 Location: COLOCAR UBICACION DEL PROYECTO
 Contract: COLOCAR NUMERO DE CONTRATO DE PROYECTO
 Engineer: INICIALES DE INGENIERO RESPONSABLE Study Case: INDICAR SUBESTACION

Page: 3
 Date: 12-12-2017
 SN: NOMBRE EMPRESA
 Filename: NOMBRE PROYECTO
 Revision: NUMERO DE REVISION

Ground Grid Summary Report

R _g Ground Resistance ohm	GPR Ground Potential Rise Volts	Touch Potential			Step Potential		
		Tolerable Volts	Calculated Volts	Calculated %	Tolerable Volts	Calculated Volts	Calculated %
0.974	1953.1	3967.4	449.8	11.3	15377.5	241.4	1.6

Total Fault Current:	2.000 kA	Reflection Factor (K):	-0.993
Maximum Grid Current:	2.005 kA	Surface Layer Derating Factor (C _s):	0.773
		Decrement Factor (D _f):	1.003

IMAGEN 4.10 Ejemplo de Hoja 3, Resultado del análisis del sistema de tierras en ETAP

4.10 Resistividad del terreno

El estudio de resistividad del terreno, lo realizó la empresa GEOVISA S.A DE C.V. ya que PEMEX solicita que esas mediciones las realice una empresa especializada en este tipo de estudios, el estudio se llamó:

“ESTUDIO GEOFÍSICO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA POR MEDIO DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES EN LA MODALIDAD WENNER EN LAS PLANTAS CRIOGÉNICAS MODULARES 5 Y 6 PARA ICA FLUOR, UBICADAS EN REYNOSA, TAMAULIPAS”.

El método geofísico que se realizó para alcanzar los objetivos planteados fue el de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), con arreglo eléctrico Wenner o de los “Cuatro Puntos”.

Consistió en colocar las varillas electrónicas en línea recta con la misma distancia de separación entre ellas Ver IMAGEN 4.11. Donde:

- a = Separación entre varillas ó electrodos de prueba
- C1 y C2 = Electrodos de Corriente
- P1 y P2 = Electrodos de Potencial

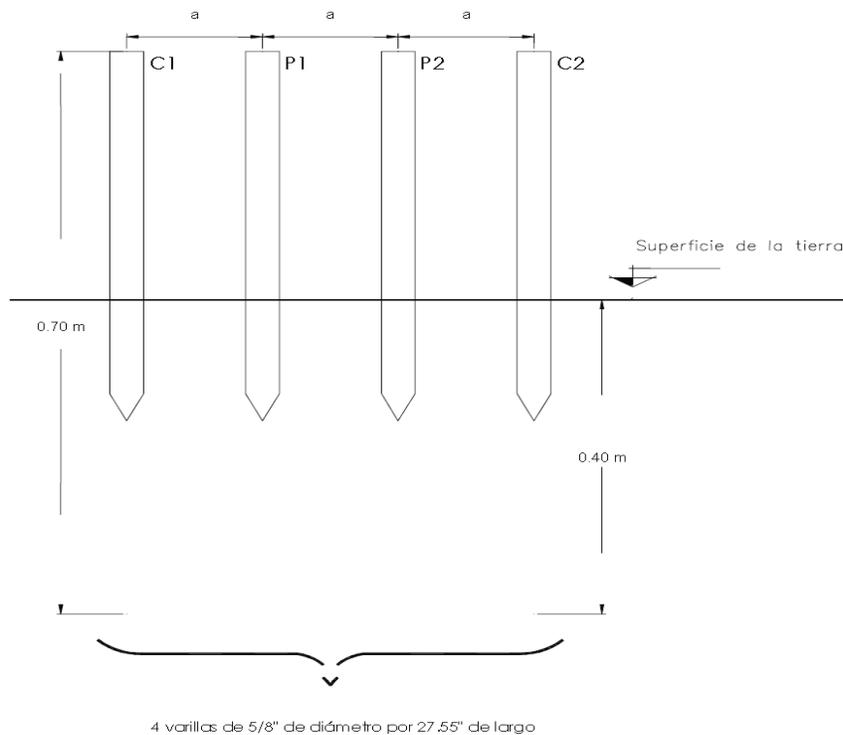


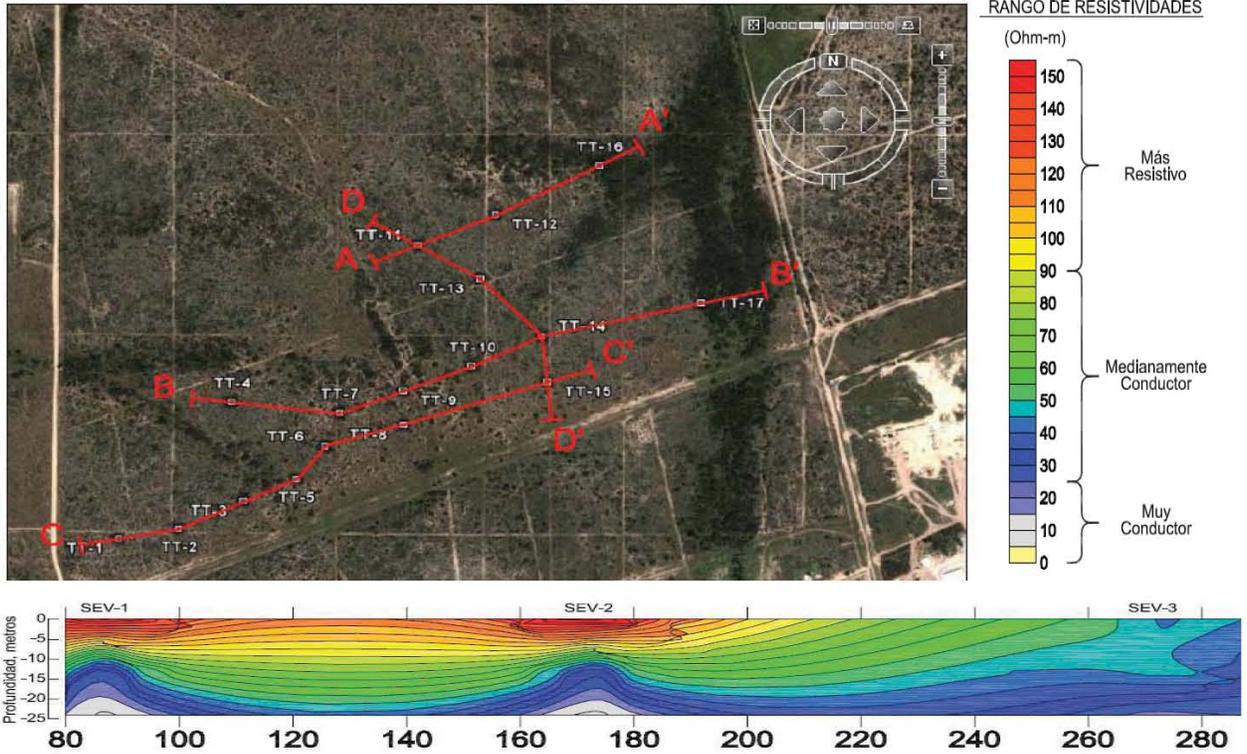
IMAGEN 4.11 Método de medición de Resistividad usado por Geovisa

El estudio eléctrico se llevó a cabo en dos áreas diferentes dentro del arreglo de las Plantas Criogénicas 5 y 6, la primera de ellas se denominó como Zona 1 y corresponde al área donde se proyecta la construcción de estas dos plantas; en esta se realizaron 17 sondeos eléctricos. Por otra parte, la Zona 2 queda definida a lo largo de la línea de acometida de energía eléctrica paralela en primera instancia a la carretera federal para luego dar vuelta y continuar por el camino de acceso a las nuevas Plantas Criogénicas donde se realizaron 6 sondeos. Ver IMAGEN 4.12.

Sobre estas líneas se realizaron las mediciones, tomando como distancia inicial (a) entre electrodos de prueba 1.60 m entre ellas; esta separación se fue aumentando de la siguiente manera:

$$a_1 = 1.60 \text{ m}; a_2 = 3.20 \text{ m}$$

Las mediciones se realizaron en dos direcciones, una en sentido Norte - Sur y otra Este - Oeste. Ver resultados en TABLA 4.2.



SONDEO ELECTRICO N°	ESTRUCTURA	LOCALIZACION		
		ESTE (X)	NORTE (Y)	Elevación (Z)
ZONA 1				
SEV-1	Subestación de Enlace CFE	116.60	2,013.40	109.50
SEV-2	Subestación Eléctrica N° 2	171.70	1,999.00	111.36
SEV-3	Turbogeneradores TG-3 y TG-4	271.20	2,004.10	112.83
SEV-4	Tanques de Almacenamiento TE-104 y TE-105	308.20	2,153.70	113.40
SEV-5	Compresores de Aire	354.80	2,008.80	112.91
SEV-6	Residencia de Construcción	413.90	2,033.50	111.70
SEV-7	Subestación Eléctrica N° 22	450.00	2,080.00	111.40
SEV-8	Cuarto de Control y Casa de Operaciones	524.10	2,031.90	111.60
SEV-9	Subestación Eléctrica Futura	544.60	2,083.80	111.30
SEV-10	Subestación Eléctrica N° 23	650.00	2,080.00	110.42
SEV-11	Planta Criogénica N° 6	654.60	2,287.20	110.74
SEV-12	Planta Criogénica N° 5	772.40	2,290.20	112.26
SEV-13	Enfriadores de Gas Residual	715.00	2,201.80	112.23
SEV-14	Subestación Eléctrica N° 21	757.60	2,085.00	110.67
SEV-15	Cobertizo de Bombas Contraincendio	737.20	2,013.60	111.76
SEV-16	Sistema de Desfogue / Quemadores	942.50	2,306.50	105.80
SEV-17	Subestación Eléctrica N° 211	981.80	2,053.80	107.95
ZONA 2				
SEV-18	Poste de Acometida Subestación Eléctrica (193+411.00)	1,450.63	979.80	

SONDEO No. 2					
DIRECCION N-S					
Profundidad electrodo (b) (m)	Separación de electrodos (a) (m)	Volios (V) (mV)	Intensidad (i) (mA)	K	Resistividad Aparente (Ohm-m)
0.4	1.60	7210	380	10.05	190.7
0.4	3.20	3140	330	20.11	191.3

DIRECCION E-W					
Profundidad electrodo (b) (m)	Separación de electrodos (a) (m)	Volios (V) (mV)	Intensidad (i) (mA)	K	Resistividad Aparente (Ohm-m)
0.4	1.60	2870	150	10.05	192.3
0.4	3.20	1158	150	20.11	155.2

NUMERO DE: **SONDEO No. 2**
 LOCALIZACION: **REYNOSA TAMAULIPAS**
 EQUIPO DE PRUEBA:
 MARCA: **SCINTREX**

Distancia entre electrodos (metros)	RESISTIVIDAD				Suma total
	Dirección N - S (Ohm-m)	Dirección E - W (Ohm-m)	Promedio (Ohm-m)	Desviación	
1.60	190.74	192.35	191.55	1.13	
3.20	191.31	155.22	173.27	25.52	

IMAGEN 4.12 Resultados de Resistividad por Geovisa

4.11 Procedimiento de cálculos

Para cada red de tierras se calculará a mano: la sección del conductor y la longitud mínima. Para las tensiones de paso y toque, tanto tolerables como de malla, así como la resistencia R_g , el potencial máximo y las constantes, serán calculadas por el software ETAP-PowerStation. El número de varillas de puesta a tierra se determinará a través de la resistencia de la red.

Datos para el cálculo de la red de tierras de las subestaciones de las Plantas Criogénicas Modulares Reynosa 5 y 6.

Corriente de falla a tierra(3I _o)	= Ver TABLA 4.3
Frecuencia (Hz)	= 60 Hz
Tiempo máximo de duración de la falla (t _c)	= 0.5 s
Relación X/R	= Ver TABLA 4.3
Temperatura ambiente (T _a)	= 45 °C
Peso promedio del trabajador (kg)	= 70 kg

* Se considera como máximo 0.5 segundos, por recomendación de la IEEE-80.

Información del terreno.

Las resistividades fueron tomadas de las mediciones mostradas en el estudio geofísico de resistividad eléctrica del terreno, a una profundidad de 1m y 3m.

ρ_1 : Resistividad promedio de la capa superior del terreno.

ρ_2 : Resistividad promedio de la capa inferior del terreno.

El valor de resistividad de la capa superficial del concreto fue tomado de la IEEE-80-2000.

El área de las subestaciones se considera lugar con terreno de material seco, debido a que los cuartos eléctricos están techados, sin embargo los valores indicados en la tabla son altos y tienen un rango bastante amplio (de 1×10^6 a 1×10^9), adicionalmente la nota al calce de la tabla indica que los valores pueden ser mucho menores debido a la presencia de humedad, pero no indica en que porcentaje disminuye. Por lo tanto, el valor que se utilizará para los cálculos es de $1 \times 10^4 \Omega\text{-m}$, que es 2 veces mas alto que el que se considera en la subestaciones "húmedas" con grava y expuestos a la intemperie de $5000 \Omega\text{-m}$.

Resistividad del terreno		N.P.T.
0.15 m	Resistividad de la capa superficial	10,000 $\Omega\text{-m}$ Concreto
1.0 m	Resistividad promedio (ρ_1) capa superior	Profundidad de la malla = 0.80 m
3.0 m	Resistividad promedio (ρ_2) capa inferior	Diámetro de las varillas = 1.9 cm

4.11.1. Cálculo de la sección del conductor

Los conductores empleados en el sistema de tierra deberán ser capaces de soportar la máxima corriente de falla durante un tiempo determinado sin llegar a la fusión.

La ecuación que evalúa la capacidad de cualquier conductor del cual se conocen las constantes de su material es la siguiente:

$$A_{mm^2} = 3I_o \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}}, \text{ ANSI/IEEE-Std,80-2000}$$

Equation (37) and Equation (38) can be arranged to give the required conductor size as a function of conductor current.

$$A_{mm^2} = I \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}} \quad (40)$$

$$A_{kcmil} = I \frac{197.4}{\sqrt{\left(\frac{TCAP}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}} \quad (41)$$

donde:

- 3I_o = Corriente máxima de falla a tierra rms en kA ver TABLA 4.3.
- A = Sección transversal del conductor en mm²
- T_m = Temperatura de fusión del conductor en grados centígrados
- T_a = Temperatura ambiente en grados centígrados
- α_r = Coeficiente térmico de resistividad en referencia a la temperatura T_r
- ρ_r = Resistividad del conductor a tierra en referencia a la temperatura T_c en μΩ/cm³

De acuerdo a la Tabla 4.1 del ANSI/IEEE Std. 80-2000 se obtienen las constantes del conductor

- T_m = 1084 °C
- T_a = 45 °C
- α_r = 0.00381
- ρ_r = 1.7774
- K_o = 242
- t_c = 0.5 s
- TCAP = 3.422
- K_o = 1/α₀ ó (1/α_r) - T_r

Description	Material ^a conductivity (% IACS)	α_r factor ^a at 20 °C (1/°C)	K_o at 0 °C (0°C)	Fusing ^a temperature T_m (°C)	Resistivity ^a at 20 °C ρ_r ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	Thermal ^a capacity TCAP [J/(cm ³ · °C)]
Copper, annealed soft-drawn	100.0	0.003 93	234	1083	1.72	3.4
Copper, commercial hard-drawn	97.0	0.003 81	242	1084	1.78	3.4
Copper-clad steel wire	40.0	0.003 78	245	1084 ^e	4.40	3.8
Copper-clad steel wire	30.0	0.003 78	245	1084 ^e	5.86	3.8
Copper-clad steel rod	17.0	0.003 78	245	1084 ^e	10.1	3.8
Aluminum-clad steel wire	20.3	0.00360	258	657	8.48	3.561
Steel, 1020	10.8 ^b	0.003 77	245	1510	15.90	3.8
Stainless-clad steel rod ^c	9.8	0.003 77	245	1400 ^e	17.50	4.4
Zinc-coated steel rod	8.6	0.003 20	293	419 ^e	20.10	3.9
Stainless steel, 304	2.4	0.001 30	749	1400	72.00	4.0

^aMaterial constants for copper, steel, stainless steel, and zinc are from *The Metals Handbook* by the American Society for Metals.

^bCopper-clad steel rods based on nominal 5/8 in rod, 0.010 in soft-drawn copper thickness over No. 1020 steel.

^cStainless-clad steel rod based on nominal 5/8 in rod, 0.020 in No. 304 stainless steel thickness over No. 1020 steel core.

^dUnlike most metals, steel has a highly variable heat capacity from 550 °C to 800 °C; however since the heat capacity in this range is much larger than at lower and higher temperatures, calculations using lower values are conservative with respect to conductor heating.

^eBi-metallic materials fusing temperature based on metal with lower fusing temperature.

TABLA 4.1

Cálculo de la sección del conductor para la SE-2 (Subestacion 2)

$$Amm^2 = 2.286 \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{3.422 \cdot 10^{-4}}{0.5 \times 0.00381 \times 1.7774}\right) \ln\left(\frac{242 + 1084}{242 + 45}\right)}} = 5.8126mm^2$$

Cálculo de la sección del conductor para la SE-21 (Subestacion 21)

$$Amm^2 = 19.078 \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{3.422 \cdot 10^{-4}}{0.5 \times 0.00381 \times 1.7774}\right) \ln\left(\frac{242 + 1084}{242 + 45}\right)}} = 48.5093mm^2$$

Cálculo de la sección del conductor para la SE-22 (Subestacion 22)

$$Amm^2 = 16.316 \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{3.422 \cdot 10^{-4}}{0.5 \times 0.00381 \times 1.7774}\right) \ln\left(\frac{242 + 1084}{242 + 45}\right)}} = 41.4864mm^2$$

Cálculo de la sección del conductor para la SE-23 (Subestacion 23)

$$A_{mm^2} = 20.132 \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{3.422 \cdot 10^{-4}}{0.5 \times 0.00381 \times 1.7774}\right) \ln\left(\frac{242 + 1084}{242 + 45}\right)}} = 51.1893 mm^2$$

Cálculo de la sección del conductor para la SE-211 (Subestacion 211)

$$A_{mm^2} = 9.197 \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{3.422 \cdot 10^{-4}}{0.5 \times 0.00381 \times 1.7774}\right) \ln\left(\frac{242 + 1084}{242 + 45}\right)}} = 23.3850 mm^2$$

En todos los casos el calibre comercial correspondiente a su sección transversal calculada es muy pequeño con respecto a 4/0 AWG cuya área de sección transversal es de 107.2 mm²; por lo que lo se cumple con lo especificado en el parrafo 8 localizado en la página 59 de 85 de la NRF-048-PEMEX-2003.

4.11.2. Cálculo de Resistividades promedio

Sondeos Eléctricos Verticales	Lugar de Referencia	Distancia entre electrodos (metros)	RESISTIVIDAD			
			Dirección N-S (Ohm-m)	Dirección E-W (Ohm-m)	Promedio por profundidad (Ohm-m)	Promedio (Ohm-m)
2	SE-2	1.60	190.74	192.35	191.545	182.405
		3.20	191.31	155.22	173.265	
14	SE-21	1.60	149.54	122.07	135.805	120.745
		3.20	117.45	93.92	105.685	
7	SE-22	1.60	15.00	14.00	14.50	16.60
		3.20	19.81	17.59	18.70	
10	SE-23	1.60	16.03	17.37	16.70	16.8925
		3.20	16.59	17.58	17.085	
17	SE-211	1.60	44.77	49.26	47.015	58.945
		3.20	56.30	85.45	70.875	

Valores obtenidos del Estudio de resistividad de GEOVISA

TABLA 4.2

4.11.3. Cálculo de la longitud mínima del conductor

Para determinar la longitud mínima del conductor se emplea la ecuación del ANSI/IEEE Std 80-2000 sig:

$$E_{mt} = (\rho K_m K_i I_G) / L_m$$

Despejando L obtenemos:

$$L_m = (\rho K_m K_i I_G) / E_{mt}$$

donde:

L_m	=	Longitud mínima del conductor en metros.
ρ	=	Resistividad del suelo en Ω -m.
I_G	=	Máxima corriente de la red que fluye entre la red de tierras y alrededor de la tierra.
K_m	=	Factor de espaciamento para el voltaje de malla.
K_i	=	Factor de corrección por la geometría de la red.
E_{mt}	=	Voltaje tolerable de toque.

Ver anexos de cálculo de Software, Correspondiente a los reportes del cálculo de la red de tierras para las constantes K_m y K_i , elaborado por el software ETAP.

Cálculo de la corriente máxima I_G .

$$I_G = D_f \times S_f \times 3I_o$$

donde:

$3I_o$	=	Corriente máxima de falla a tierra.
I_G	=	Corriente máxima que fluye entre la malla y la tierra. (I_G es calculada por el software ETAP-PowerStation, ver resultados en TABLA 4.3.
D_f	=	Factor decremental para determinar I_G .
S_f	=	Factor divisorio de la corriente de falla.

Debido a que la metodología para determinar el factor S_f , está basada en las impedancias de la LT, del hilo de guarda, de la subestación, etc; se hará una suposición basada en la definición, la cual dice lo siguiente: "El factor divisorio de corriente se define como la relación inversa de la corriente de falla simétrica respecto a la porción de la corriente que fluye entre la malla de tierras y la tierra a su alrededor". De lo anterior se tiene que la máxima corriente de falla a tierra circula por la malla de tierras y a su vez se va drenando hacia la tierra misma, la cantidad de corriente que queda en la malla de tierras para considerarla en el cálculo del potencial de malla no es fácil determinarla. Sin embargo, para efectos prácticos se considerará que el porcentaje de corriente que se queda en la malla es del orden del 40 al 80% de la máxima corriente de falla. En este caso consideraremos el 60%.

Sustituyendo valores tenemos que:

SE-2

$$IG = 1.001 \times 0.6 \times 2286 = 1373 \text{ A}$$

$$Lm = (182.41 \times 0.738 \times 1.663 \times 1373) / 1932.1 = 159.0883 \text{ m}$$

$$L_{tot} = L_{malla} + L_{varillas} = ((54.5 \times 4) + (33.7 \times 2) + (27.628 \times 6) + (16.704 \times 2)) + (7 \times 3.05) = 484.576 + 21.35 = 505.926 \text{ m}$$

$$505.926 \text{ m} > 159.0883 \text{ m}$$

SE-21

$$IG = 1.010 \times 0.6 \times 19078 = 11561.3 \text{ A}$$

$$Lm = (120.745 \times 0.697 \times 2.060 \times 11561.3) / 1922.9 = 1042.3633 \text{ m}$$

$$L_{tot} = L_{malla} + L_{varillas} = ((79.8 \times 7) + (37.5 \times 14)) + (10 \times 3.05) = 1083.6 + 30.5 = 1114.1 \text{ m}$$

$$1114.1 \text{ m} > 1042.3633 \text{ m}$$

SE-22

$$IG = 1.012 \times 0.6 \times 16316 = 9907.0752 \text{ A}$$

$$Lm = (16.60 \times 0.713 \times 1.752 \times 9907.0752) / 2794.4 = 73.5171 \text{ m}$$

$$L_{tot} = L_{malla} + L_{varillas} = ((40 \times 5) + (37 \times 7)) + (8 \times 3.05) = 459 + 24.4 = 483.4 \text{ m}$$

$$483.4 \text{ m} > 73.5171 \text{ m}$$

SE-23

$$IG = 1.011 \times 0.6 \times 20132 = 12212.0712 \text{ A}$$

$$Lm = (16.89 \times 0.705 \times 1.604 \times 12212.0712) / 1903.2 = 122.5542 \text{ m}$$

$$L_{tot} = L_{malla} + L_{varillas} = ((28 \times 7) + (30 \times 6)) + (6 \times 3.05) = 376 + 18.3 = 394.3 \text{ m}$$

$$394.3 \text{ m} > 122.5542 \text{ m}$$

SE-211

$$IG = 1.008 \times 0.6 \times 9197 = 5562.3456 \text{ A}$$

$$Lm = (117.88 \times 0.718 \times 1.603 \times 5562.3456) / 1908.3 = 395.4662 \text{ m}$$

$$L_{tot} = L_{malla} + L_{varillas} = ((28 \times 7) + (33 \times 6)) + (6 \times 3.05) = 394 + 18.3 = 412.3 \text{ m}$$

$$412.3 \text{ m} > 395.4662 \text{ m}$$

4.11.4. Verificación de la resistencia de la red de tierras.

De acuerdo al diseño propuesto se incluyen 7 varillas en el arreglo del sistema de tierras para la subestación SE-2. Como ejemplo se verifica la resistencia de la red de tierras para la SE-2. El resultado del cálculo del reporte del software indica que se tiene una resistencia del sistema de tierras de: $R = 2.83$ ohms.

Cálculo Manual de la resistencia del **sistema de tierras** por el método simplificado.

La ecuación que calcula el valor de la resistencia de la red de tierras es la sig:

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L_T}; \quad (\text{ANSI/IEEE-Std.80-2000})$$

donde:

R_g = Resistencia de la red de tierras en Ω .
 L_t = Longitud total del conductor enterrado en m.
 A = Area ocupada por la red de tierras en m^2 .
 ρ = Resistividad del suelo en $\Omega\cdot m$.

$$R_g = \frac{182.41}{4} \sqrt{\frac{\pi}{(54.5 \times 16.704) + (10.924 \times 33.7)}} + \frac{182.41}{478.726} = 2.64 \approx 2.83 \text{ ohms}$$

El cálculo cumple con el criterio de que el valor de la resistencia de las varillas no debe ser mayor de 5 ohms. Por lo tanto el arreglo de los conductores y la cantidad de varillas es apropiado para cumplir el valor de la resistencia requerida.

4.11.5. Resultados

ÁREA (Arreglo)	Resistividad		CC		CABLE			Voltajes Calculados		Voltajes Tolerables		Longitud De la Malla		No de Varillas	Rq Sistema Tierras
	ρ_1	ρ_2	I_{30}	X/R	Calibre Calculado	Calibre mínimo	Calibre utilizado	Vm toque	Vp paso	Vmt toque	Vpt paso	L mínimo	L Diseño		
	[Ω -m]	[$\frac{\Omega}{m}$]	[kA]		[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[V]	[V]	[V]	[V]	[m]	[m]		
SE-2 54.5x27.64 (6 x 8)	191.6	173.3	2.29	0.24	5.8126	107.2 (4/0 AWG)	107.2 (4/0 AWG)	655.5	356.8	2798.5	10528	159.1	479	7	2.83
SE-21 79.8 x 37.5 (7 x 14)	135.8	105.7	19.1	3.88	48.5093	107.2 (4/0 AWG)	107.2 (4/0 AWG)	1991	1138.5	2794.2	10511	1042	1114	10	1.19
SE-22 40 x 37 (5 x 7)	14.5	18.7	16.3	4.38	41.4864	107.2 (4/0 AWG)	107.2 (4/0 AWG)	60	34.2	2784.9	10474	73.5	483.4	8	0.21
SE-23 28 x 30 (7 x 6)	16.7	17.08	20.1	4.03	51.1893	107.2 (4/0 AWG)	107.2 (4/0 AWG)	568.1	338.6	2785.1	10474	122.6	394	6	0.3
SE-211 28 x 33 (7 x 6)	47.01	70.87	9.2	2.9	23.385	107.2 (4/0 AWG)	107.2 (4/0 AWG)	708.7	408.4	2787.4	10484	395.5	412	6	0.79

TABLA 4.3

De la tabla anterior se observa lo siguiente:

Los voltajes de paso y de toque calculados por el software son menores a los tolerables. Estos valores pueden verse en los anexos de cálculo de software. La longitud de cable instalada es mayor a la longitud mínima requerida. Esto se debe a que la distribución de los equipos y su conexión respectiva así lo requiere.

Las varillas son utilizadas para mejorar el contacto con niveles bajos de resistividad del terreno que con frecuencia se localizan en profundidades mayores, sin embargo para este caso las resistividades consideradas para el cálculo son bajas, por lo que con la cantidad de cable instalado es suficiente para cumplir con los voltajes de paso y toque así como el valor de la resistencia del sistema de tierras.

4.11.6. Anexos de Cálculos del software

Project: PLANTAS CRIOGENICAS REYNOSA
Location: REYNOSA, TAMAULIPAS
Contract: 7319
Engineer:

ETAP
5.5.6C

Study Case: SE-2

Page: 1
SN: ICA-FLUOR
Filename: CRIOGENICAS123456

ANALISE DEL SISTEMA ELEC TRICO DEL PROYECTO REYNOSA-PEMEX
Estudio de Sistema de Tierras Eléctricas

Electrical Transient Analyzer Program

Ground Grid Systems

IEEE Std 80-2000

Number of Ground Conductors: 14
Number of Ground Rods: 7
Total Length of Ground Conductors: 1501.00 ft
Total Length of Ground Rods: 70.00 ft

Frequency: 60.0
Unit System: English
Project Filename: CRIOGENICAS123456

Output Filename: \\ICAFDNTS2\Phys\Reynosa\ele\work\ENG-DES DATA\09 Tech Studies\Estudios
ETAPSE-2_Untitled.GR1

Project: PLANTAS CRIOGENICAS REYNOSA
 Location: REYNOSA, TAMAULIPAS
 Contract: 7319
 Engineer:

ETAP
 5.5.6C

Study Case: SE-2

Page: 2
 SN: ICA-FLUOR
 Filename: CRIOGENICAS123456

ANALISIS DEL SISTEMA ELECTRICO DEL PROYECTO REYNOSA-PEMEX
 Estudio de Sistema de Tierras Eléctricas

Ground Grid Input Data

System Data:

Freq. Hz	Weight kg	Ambient Temp. °C	Short-Circuit Current				Fault Duration (Seconds)		
			Total Fault Current kA	X/R	Sf Division Factor %	Cp Projection Factor %	Tf for Total Fault Duration	Tc for Sizing Ground Conductors	Ts for Available Body Current
60.0	70	40.00	1284	0.24	60.0	100.0	0.50	0.50	0.50

Soil Data:

Surface Material			Upper Layer Soil			Lower Layer Soil	
Material Type	Resistivity Ωm	Depth ft	Material Type	Resistivity Ωm	Depth ft	Material Type	Resistivity Ωm
Clean limestone	10000.0	0.49	Moist soil	191.4	4.74	Moist soil	173.3

Material Constants:

Conductor/Rod	Type	Conductivity %	αr Factor @ 20 °C 1° C	K0 @ 0 °C	Fusing Temperature °C	Resistivity of Ground Conductor @ 20 °C μΩ.cm	Thermal Capacity Per Unit Volume J/(cm³.°C)
Conductor & Rod	Copper, commercial hard-drawn	97.0	0.00381	242.0	1084.0	1.78	342

Rod Data:

Diameter inch	Length ft	No. of Rods	Arrangement	Cost \$/Rod
0.750	10.0	7	Rods Through-out Grid Area	100.0

Grid Configuration:

Conductor Size AWG/kcmil	Depth ft	Grid Length ft				Number of Conductors		Separation ft		Cost \$/ft	Shape: L-shaped
		Lx, long	Lx, short	Ly, long	Ly, short	in X Direction	in Y Direction	in X Direction	in Y Direction		
4.0	2.4	154.51	110.54	90.44	54.80	4	8	22.34	18.13	3.30	

Cost:

Conductor			Rod			Total Cost
Total No.	Total Length ft	Cost	Total No.	Total Length ft	Cost	
14	1700.4	\$4952	7	70.0	\$700	\$5652

Project: PLANTAS CRIOGENICAS REYNOSA
Location: REYNOSA, TAMAULIPAS
Contract: 7319
Engineer:

ETAP
5.5.6C

Study Case: SE-21

Page: 1
SN: ICA-FLUOR
Filename: CRIOGENICAS123456

ANALISIS DEL SISTEMA ELECTRICO DEL PROYECTO REYNOSA-PEMEX
Estudio de Sistema de Tierras Eléctricas

Electrical Transient Analyzer Program

Ground Grid Systems

Finite Element Method

Number of Ground Conductors: 25
Number of Ground Rods: 14
Total Length of Ground Conductors: 4447.00 ft
Total Length of Ground Rods: 140.00 ft

Frequency: 60.0
Unit System: English
Project Filename: CRIOGENICAS123456

Output Filename: \\ICAFD\NT52\Prjs\Reynosa\ele\work\ENG-DES\DATA\09 Tech Studies\Estudios
ETAP\Grid2_Untitled.GR1

Project: PLANIAS CRIODGENICAS REYNOSA
 Location: REYNOSA, TAMAULIPAS
 Contract: 7319
 Engineer:

ETAP
 5.5.4C

Page: 2
 SN: ICA-FLUOR
 Filename: CRIODGENICAS123456

ANALISIS DEL SISTEMA ELECTRICO DEL PROYECTO REYNOSA-PEMEX
 Estudio de Sistema de Trazas Electricas

Ground Grid Input Data

System Data:

Freq. Hz	Weight lg	Ambient Temp. °C	Short-Circuit Current			Fault Duration (Seconds)			Plot Step ft	Extended Boundary Length ft	
			Total Fault Current I _A	Sf Division Factor %	Cp Projection Factor %	Tf for Total Fault Duration	Tc for Sizing Ground Conductors	Ts for Available Body Current			
60.0	70	45.00	19078	3.88	60.0	100.0	0.50	0.50	0.50	3.0	0.00

Soil Data:

Surface Material			Upper Layer Soil			Lower Layer Soil	
Material Type	Resistivity Ωm	Depth ft	Material Type	Resistivity Ωm	Depth ft	Material Type	Resistivity Ωm
Chalkstone	10000.0	0.49	Moist soil	135.8	4.74	Moist soil	105.7

Material Constants:

Conductor/Rod	Type	Conductivity %	Gr Factor @ 20 °C 1/°C	K0 @ 0 °C	Fusing Temperature °C	Resistivity of Ground Conductor @ 20°C μΩ/cm	Thermal Capacity Per Unit Volume J/(cm³·°C)
Conductor	Copper, commercial hard-drawn	97.0	0.00381	242.0	1084.0	1.78	342
Conductor	Copper, annealed soft-drawn	100.0	0.00393	234.0	1083.0	1.72	342
Conductor	Copper, commercial hard-drawn	97.0	0.00381	242.0	1084.0	1.78	342
Rod	Copper, annealed soft-drawn	100.0	0.00393	234.0	1083.0	1.72	342

Conductor Data:

Label	Type	Size AWG/kcmil	From			To			Length ft	Insulated Yes/No	Cost \$/ft
			X	Y	Z	X	Y	Z			
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	39.30	9.00	2.40	39.30	140.30	2.40	131.30	NO	\$3
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	39.30	118.40	2.40	299.70	118.40	2.40	240.40	NO	\$3
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	39.30	74.40	2.40	299.70	74.40	2.40	240.40	NO	\$3
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	39.30	94.50	2.40	299.70	94.50	2.40	240.40	NO	\$3
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	39.30	52.80	2.40	299.70	52.80	2.40	240.40	NO	\$3
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	39.30	9.00	2.40	299.70	9.00	2.40	240.40	NO	\$3
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	39.30	140.30	2.40	299.70	140.30	2.40	240.40	NO	\$3
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	59.30	9.00	2.40	59.30	140.30	2.40	131.30	NO	\$3
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	79.40	9.00	2.40	79.40	140.30	2.40	131.30	NO	\$3
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	99.40	9.00	2.40	99.40	140.30	2.40	131.30	NO	\$3
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	259.40	9.00	2.40	259.40	140.30	2.40	131.30	NO	\$3
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	39.30	30.90	2.40	299.70	30.90	2.40	240.40	NO	\$3
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	299.70	9.00	2.40	299.70	140.30	2.40	131.30	NO	\$3
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	279.70	9.00	2.40	279.70	140.30	2.40	131.30	NO	\$3
--	Copper, commercial hard-drawn	4.0	119.40	9.00	2.40	119.40	140.30	2.40	131.30	NO	\$3

Project: PLANTAS CRIOGENICAS REYNOSA
 Location: REYNOSA, TAMAULIPAS
 Contract: 7319
 Engineer:

ETAP
 5.5.6C

Page: 3
 SN: ICA-FLUOR
 Filename: CRIOGENICAS123456

Study Case: SE-21

ANALISIS DEL SISTEMA ELECTRICO DEL PROYECTO REYNOSA-PEMEX
 Estudio de Sistema de Tierras Eléctricas

Conductor Data:

Label	Type	Size AWG/1cmil	From			To			Length ft	Insulated Yes/No	Cost \$/ft
			X	Y	Z	X	Y	Z			
---	Copper, commercial-drawn	4/0	239.40	9.00	2.40	239.40	140.30	2.40	131.30	NO	\$3
---	Copper, commercial-drawn	4/0	219.40	9.00	2.40	219.40	140.30	2.40	131.30	NO	\$3
---	Copper, commercial-drawn	4/0	199.50	9.00	2.40	199.50	140.30	2.40	131.30	NO	\$3
---	Copper, commercial-drawn	4/0	179.50	9.00	2.40	179.50	140.30	2.40	131.30	NO	\$3
---	Copper, commercial-drawn	4/0	159.50	9.00	2.40	159.50	140.30	2.40	131.30	NO	\$3
---	Copper, commercial-drawn	4/0	139.50	9.00	2.40	139.50	140.30	2.40	131.30	NO	\$3
C10	Copper, annealed rod-drawn	4/0	295.80	9.20	0.50	295.80	141.20	0.50	132.00	NO	\$3
C11	Copper, annealed rod-drawn	4/0	43.40	8.90	0.50	43.50	140.70	0.50	131.80	NO	\$3
C8	Copper, annealed rod-drawn	4/0	391.0	12.20	0.50	300.40	11.90	0.50	241.50	NO	\$3
C9	Copper, annealed rod-drawn	4/0	393.0	13.90	0.50	300.10	13.90	0.50	240.80	NO	\$3

Rod Data:

Label	Type	Diameter inch	From			To			Length ft	Insulated Yes/No	Cost \$/Rod
			X	Y	Z	X	Y	Z			
R0	Copper, annealed rod-drawn	0.750	280.40	9.40	0.50	280.40	9.40	10.50	10.00	NO	\$100
R1	Copper, annealed rod-drawn	0.750	280.40	139.90	0.50	280.40	139.90	10.50	10.00	NO	\$100
R2	Copper, annealed rod-drawn	0.750	40.40	9.40	0.50	40.40	9.40	10.50	10.00	NO	\$100
R24	Copper, annealed rod-drawn	0.750	299.30	9.20	0.50	299.30	9.20	10.50	10.00	NO	\$100
R27	Copper, annealed rod-drawn	0.750	299.40	139.90	0.50	299.40	139.90	10.50	10.00	NO	\$100
R28	Copper, annealed rod-drawn	0.750	591.0	9.20	0.50	591.0	9.20	10.50	10.00	NO	\$100
R29	Copper, annealed rod-drawn	0.750	591.0	140.40	0.50	591.0	140.40	10.50	10.00	NO	\$100
R3	Copper, annealed rod-drawn	0.750	394.0	139.90	0.50	394.0	139.90	10.50	10.00	NO	\$100
R4	Copper, annealed rod-drawn	0.750	399.0	74.90	0.50	399.0	74.90	10.50	10.00	NO	\$100
R5	Copper, annealed rod-drawn	0.750	299.40	74.40	0.50	299.40	74.40	10.50	10.00	NO	\$100
R6	Copper, annealed rod-drawn	0.750	119.90	9.40	0.50	119.90	9.40	10.50	10.00	NO	\$100
R7	Copper, annealed rod-drawn	0.750	200.40	9.40	0.50	200.40	9.40	10.50	10.00	NO	\$100
R8	Copper, annealed rod-drawn	0.750	119.90	139.90	0.50	119.90	139.90	10.50	10.00	NO	\$100
R9	Copper, annealed rod-drawn	0.750	199.90	139.90	0.50	199.90	139.90	10.50	10.00	NO	\$100

Cost:

Conductor			Rod			Total Cost
Total No.	Total Length ft	Cost	Total No.	Total Length ft	Cost	
25	4447.1	\$14475	14	140.0	\$1400	\$14075

Project: PLANTAS CRIOGENICAS REYNOSA
 Location: REYNOSA, TAMAULIPAS
 Contract: 7319
 Engineer:

ETAP
 5.5.6C

Study Case: SE-21

Page: 4
 SN: ICA-FLUOR
 Filename: CRIOGENICAS123456

ANALISIS DEL SISTEMA ELECTRICO DEL PROYECTO REYNOSA-PEMEX
 Estudio de Sistema de Tierras Eléctricas

Ground Grid Summary Report

Rg Ground Resistance Ohm	GPR Ground Potential Rise Volts	Maximum Touch Potential					Maximum Step Potential				
		Tolerable Volts	Calculated Volts	Calculated %	Coordinates(ft)		Tolerable Volts	Calculated Volts	Calculated %	Coordinates(ft)	
					X	Y				X	Y
0.84	9710.4	2794.2	1410.0	50.5	288.7	20.8	10510.8	1501.8	14.3	299.30	9.20

Total Fault Current	19.078 kA	Reflection Factor (K):	-0.973
Maximum Grid Current:	11.564 kA	Surface Layer Derating Factor (Cs):	0.772
		Decrement Factor (Df):	1.010

The calculated surface potential is greater than GPR probably because of line current source assumption.

4.12 Desarrollo de ingeniería de detalle del sistema de tierra

Una vez que se tiene el cálculo de la malla de tierras, se proceden a realizar la ingeniería de detalle (planos de detalle de cada área y detalles de construcción), procuración de los materiales (lista de materiales, evaluación, requisición y compra).

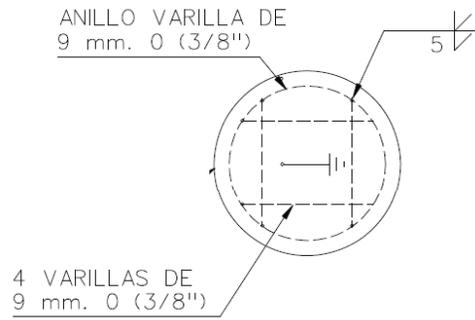
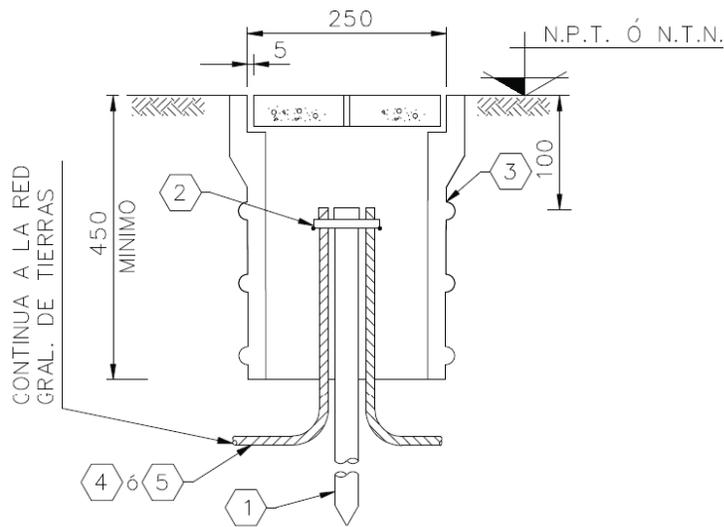
4.12.1 PLANOS DE DETALLES Y NOTAS GENERALES.

Los planos de detalles son una representación en dibujo, de cómo se deben de realizar la construcción, para que las personas que están ejecutando ese típico les sea de mucha utilidad.

Estos típicos ayudan a representar en los planos de diseño de ingeniería, las veces que el detalle se repite, evitando generar en el dibujo muchas características y el plano sale más limpio.

El plano de NOTAS GENERALES, ayuda a colocar los puntos más importantes del diseño y que son repetitivos o que aplican en muchos planos, es decir, por ejemplo; si la profundidad de la malla de tierras ya se estableció que vaya a una profundidad de 600 mm, no es necesario escribirlo en todos los planos si no referenciar en una nota del plano el número de plano de NOTAS GENERALES. Ver el plano de simbología y notas generales en los ANEXOS.

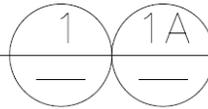
Los detalles típicos principales son:



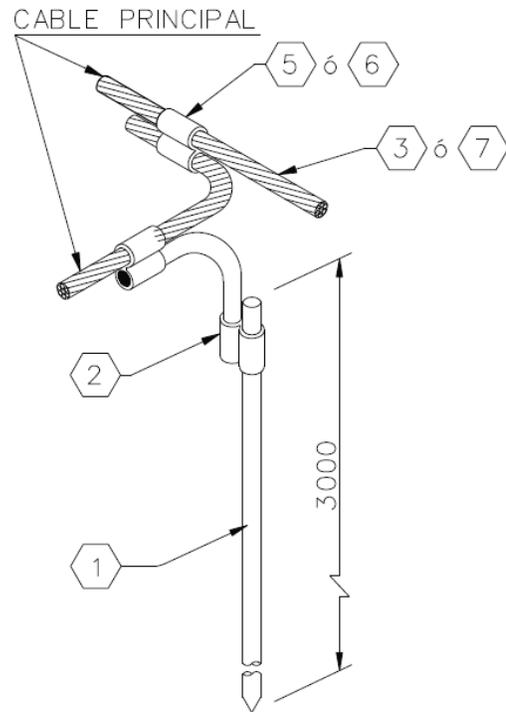
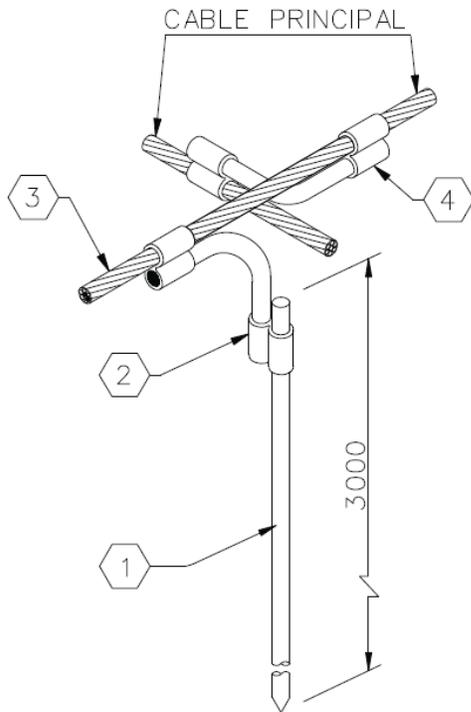
REGISTRO DE DISPERSION

PLANTA TAPA DEL REGISTRO

DETALLE
SIN ESC.



LISTA DE MATERIALES					
PARTIDA	CANTIDAD		UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	1	1A			
1	1	1	pieza	VARILLA TIERRAS 19 mm DIAM Y 0.25 MM COOPERWELD	3000
2	1	1	pieza	CONEC MEC 3 CAB-VARILLA 16 MM # GK6426	<2/0-250>
3	1	1	pieza	TUBO P/REGISTRO SISTEMA DE TIERRA CONCRETO	250
4	REQ.	-	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2/0-19>
5	-	REQ.	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<4/0-19>



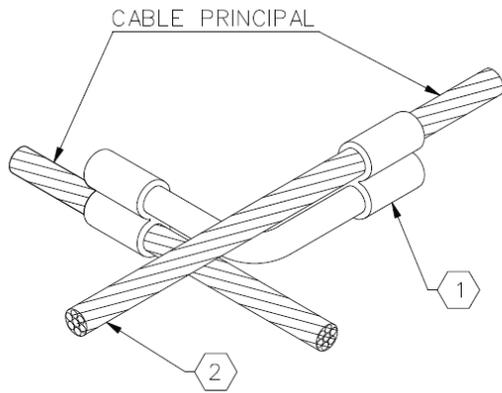
CONEXION A VARILLA SIN REGISTRO DE DISPERSION

DETALLE
SIN ESC.

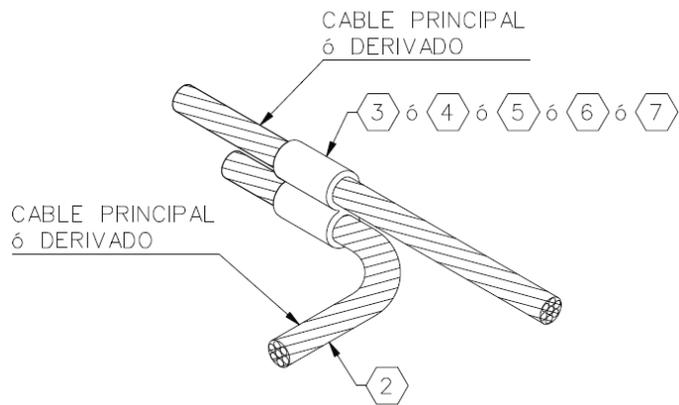


LISTA DE MATERIALES

PARTID A	CANTIDAD			UNID AD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	2	2A	2B			
1	1	1	1	pieza	VARILLA TIERRAS 19 mm DIAM Y 0.25 MM COOPERWELD	3000
2	1	1	1	pieza	CONEC A COMPRESION EN CRUZ # YGL29C2	<13,16-6,2>
3	REQ	REQ	-	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2/0-19>
4	1	-	-	pieza	CONEC A COMPRESION EN CRUZ # YGL29C2	<13,16-6,2>
5	-	1	-	pieza	CONEC A COMP LINEA-DERIV # YGHC29C29	<1,2/0-1,2/0>
6	-	-	1	pieza	CONEC A COMP LINEA-DERIV # YGHC29C29	<3/0,250- 3/0,250>
7	-	-	REQ	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<4/0-19>



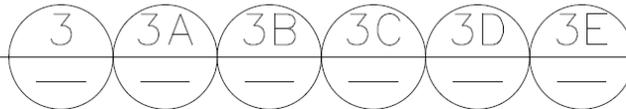
CONEXION EN "X"



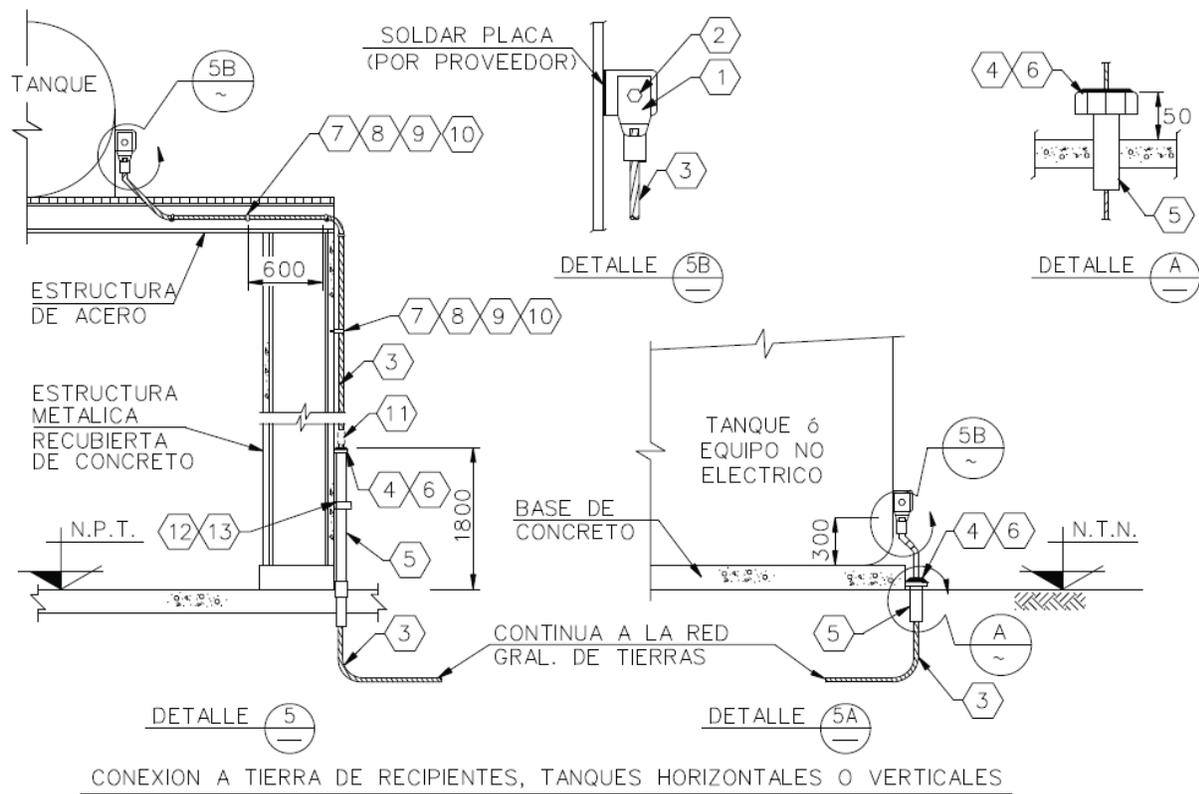
CONEXION EN "T"

CONEXIONES DE CABLE A CABLE

DETALLE
SIN ESC.

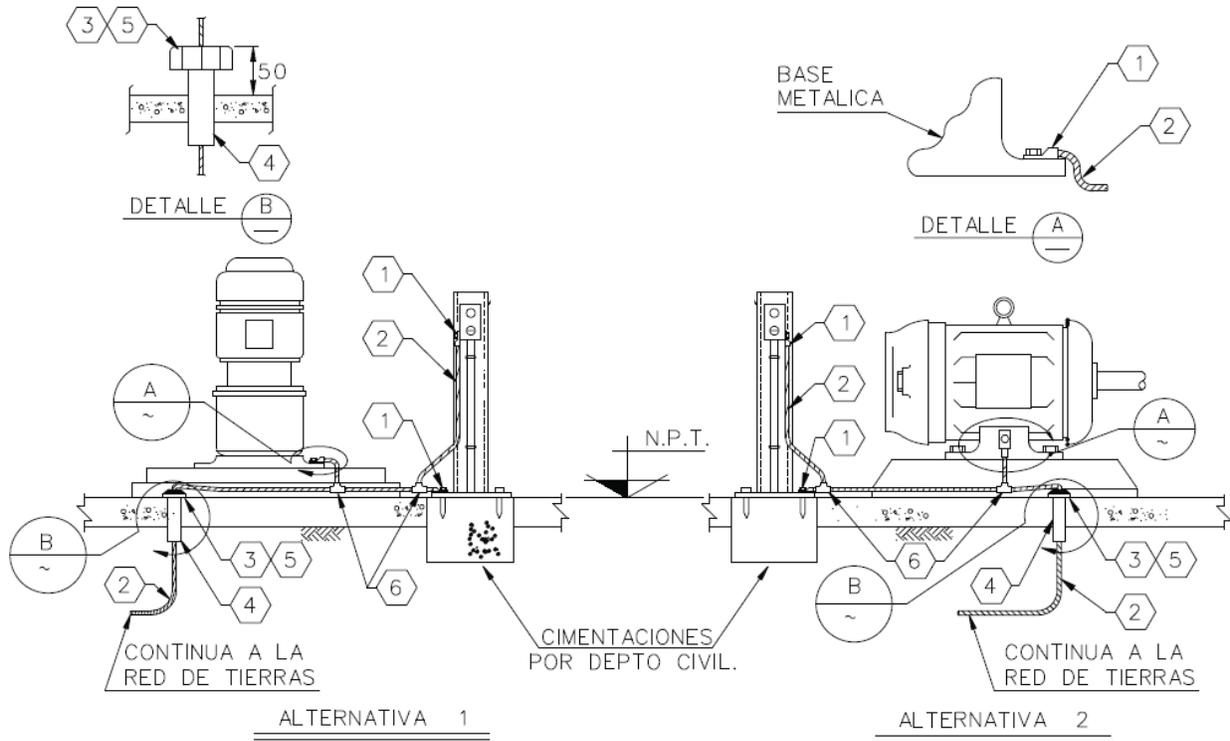


LISTA DE MATERIALES									
PARTI DA	CANTIDAD						UNIDA D	DESCRIPCION	TAMAÑO
	3	3A	3B	3C	3D	3E			
1	1	-	-	-	-	-	pieza	VARILLA TIERRAS 19 mm DIAM Y 0.25 MM COOPERWELD	3000
2	RE Q.	RE Q.	RE Q.	RE Q.	RE Q.	RE Q.	pieza	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2/0-19 , 4/0-19>
3	-	1	-	-	-	-	metro	CONEC A COMP LINEA-DERIV # YGHC29C29	<2,250-2,250>
4	-	-	1	-	-	-	pieza	CONEC A COMP LINEA-DERIV # YGHC29C29	<1,2/0-1,2/0>
5	-	-	-	1	-	-	pieza	CONEC A COMP LINEA-DERIV # YGHC29C29	<6,2-6,2>
6	-	-	-	-	1	-	pieza	CONEC A COMP LINEA-DERIV # YGHC29C29	<3/0,250-6,2>
7	-	-	-	-	-	1	metro	CONEC A COMP LINEA-DERIV # YGHC29C29	<3/0,250-3/0,250>



DETALLE 5 5A 5B
 SIN ESC.

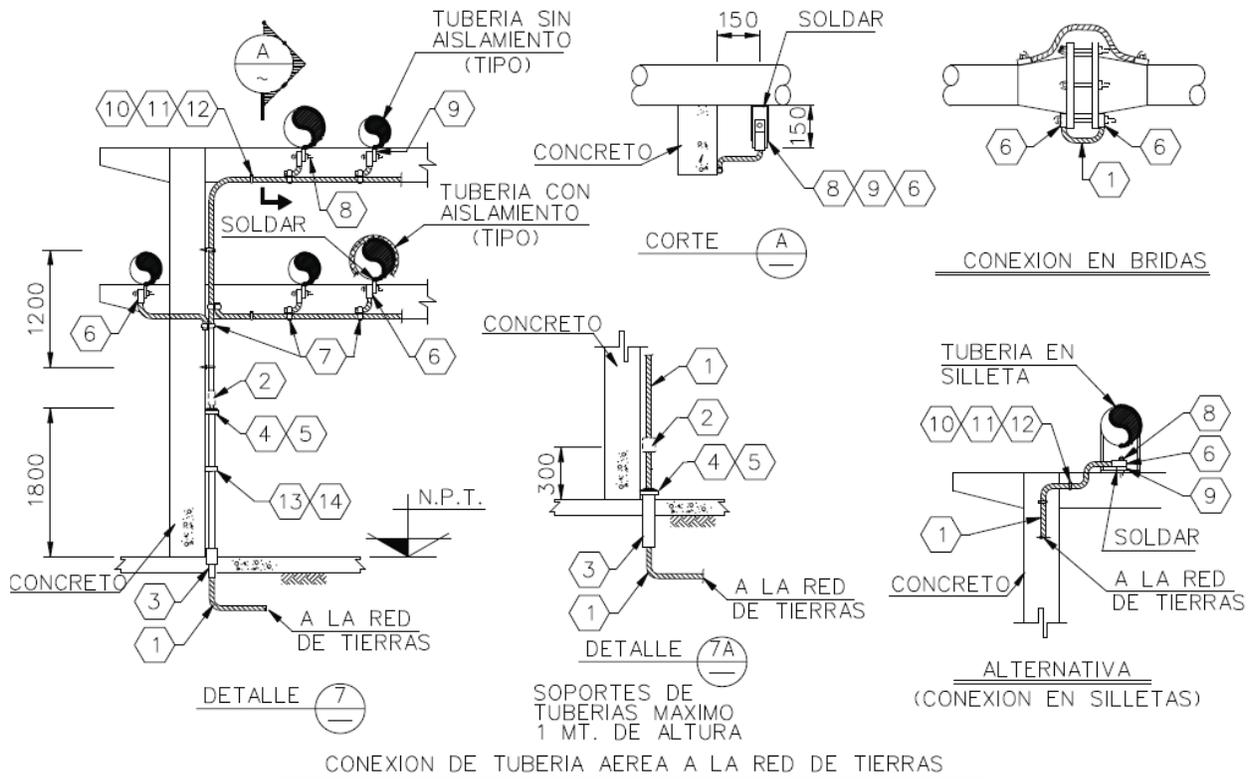
LISTA DE MATERIALES						
PARTIDA	CANTIDAD			UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	5	5A	5B			
1	1	1	1	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR # YA2C	<2-12.7>
2	1	1	1	pieza	TORNILLO CZA HEX. BCE CAT. 50x100 HEX BOX	<12.7 x 25.4>
3	REQ.	REQ.	REQ.	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2-7>
4	0.05	0.05	-	kg	COMP CHICO "A" CON FIBRA CHICO "X" # A4	<1-0.5>
5	2	0.3	-	TRAMO	TUBO COND T/PESADO AC GALV 3/4"	21
6	1	1	-	pieza	MONITOR FUNDIDO P/CONDUIT AC 3/4" # 1032	21
7	2	-	-	pieza	ABRAZADERA PARA CABLE DESNUDO # 2425	<No Size>
8	2	-	-	pieza	PERNO ROSC AC INOX "X-BT-ER-M6/7-SN4" 2107275	<No Size>
9	2	-	-	pieza	CARTUCHO CALIBRE 27	<ROJO>
10	REQ.	-	-	pieza	RONDANA PLANA DE BRONCE CAT. "50 FW BOX"	<12.7>
11	1	-	-	pieza	EMPALME A COMPRESION YGHS2C	2
12	1	-	-	pieza	ABRAZADERA UÑA HIERRO MAL GALV 3/4" #511	21
13	1	-	-	pieza	ESPACIADOR PARA TUBO CONDUIT CAT. CB3	27



CONEXION A TIERRA DE MOTORES ELECTRICOS

DETALLE 6
SIN ESC.

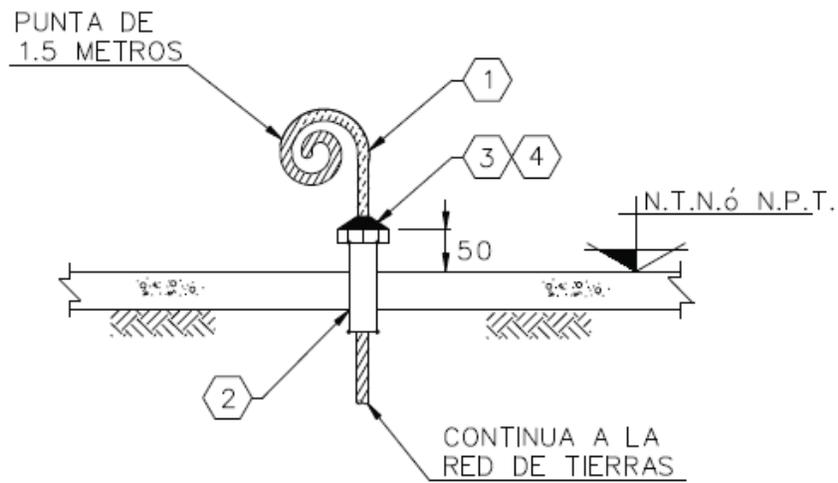
LISTA DE MATERIALES				
PARTIDA	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	6			
1	3	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR # YA2C	<2-12.7>
2	REQ.	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2-7>
3	0.05	kg	COMP CHICO "A" CON FIBRA CHICO "X" # A4	<1-0.5>
4	0.3	TRAMO	TUBO COND T/PESADO AC GALV 3/4"	21
5	1	pieza	MONITOR FUNDIDO P/CONDUIT AC 3/4" # 1032	21
6	2	pieza	CONEC A COMP LINEA-DERIV # YGHC29C29	<6,2-6,2>



DETALLE 7 7A
SIN ESC.

LISTA DE MATERIALES

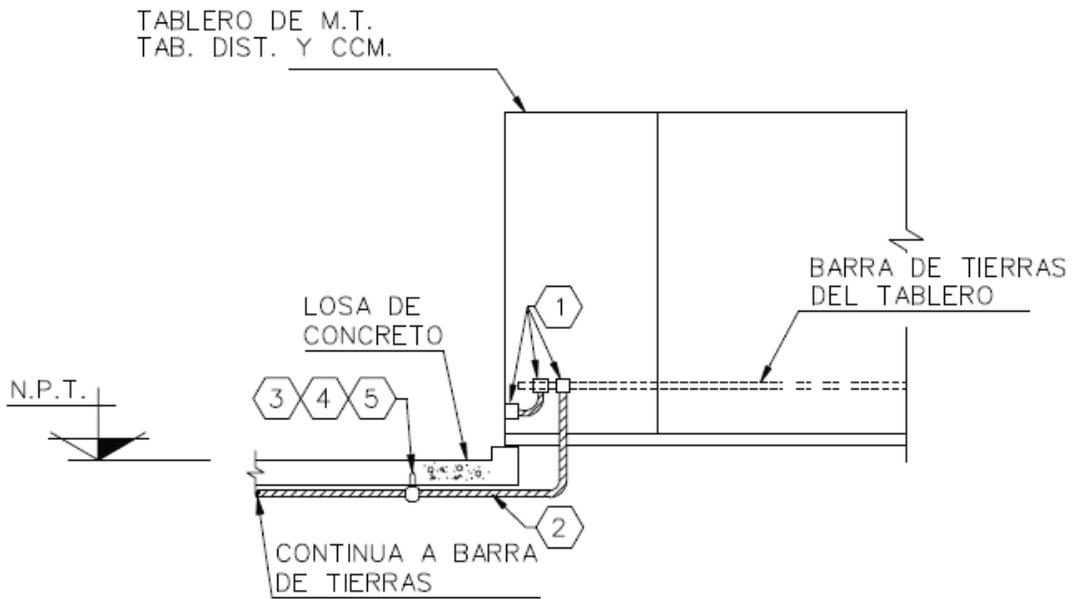
PARTIDA	CANTIDAD		UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	7	7A			
1	REQ.	REQ.	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2-7>
2	1	1	pieza	EMPALME A COMPRESION YGHS2C	2
3	2	0.3	metro	TUBO COND T/PESADO AC GALV 3/4"	21
4	0.05	0.05	kg	COMP CHICO "A" CON FIBRA CHICO "X" # A4	<1-0.5>
5	1	1	pieza	MONITOR FUNDIDO P/CONDUIT AC 3/4" # 1032	21
6	5	-	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR # YA2C	<2-12.7>
7	5	-	pieza	CONEC A COMP LINEA-DERIV # YGHC29C29	<6,2-6,2>
8	REQ.	-	pieza	TORNILLO CZA HEX. BCE CAT. 50x100 HEX BOX	<12.7 x 25.4>
9	0.75	-	metro	SOLERA DE ACERO AL CARBON 6.35 mm ESPESOR	<51>
10	5	-	pieza	ABRAZADERA PARA CABLE DESNUDO # 2425	<No Size>
11	5	-	pieza	PERNO PARA CONCRETO 6.35 DIAMETRO Y 20 mm LONG.	<->
12	5	-	pieza	CARTUCHO CALIBRE 27	<ROJO>
13	1	-	pieza	ABRAZADERA UÑA HIERRO MAL GALV 3/4" #511	21
14	1	-	pieza	ESPACIADOR PARA TUBO CONDUIT CAT. CB3	21



PREPARACION PARA CONEXION A TIERRAS DE EQUIPO FUTURO

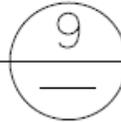
DETALLE 8
SIN ESC.

LISTA DE MATERIALES				
PARTIDA	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	8			
1	REQ.	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2-7>
2	0.3	TRAMO	TUBO COND T/PESADO AC GALV 3/4"	21
3	1	pieza	MONITOR FUNDIDO P/CONDUIT AC 3/4" # 1032	21
4	0.05	kg	COMP CHICO "A" CON FIBRA CHICO "X" # A4	<1-0.5>



CONEXION DE TABLERO AUTOSOPORTADO

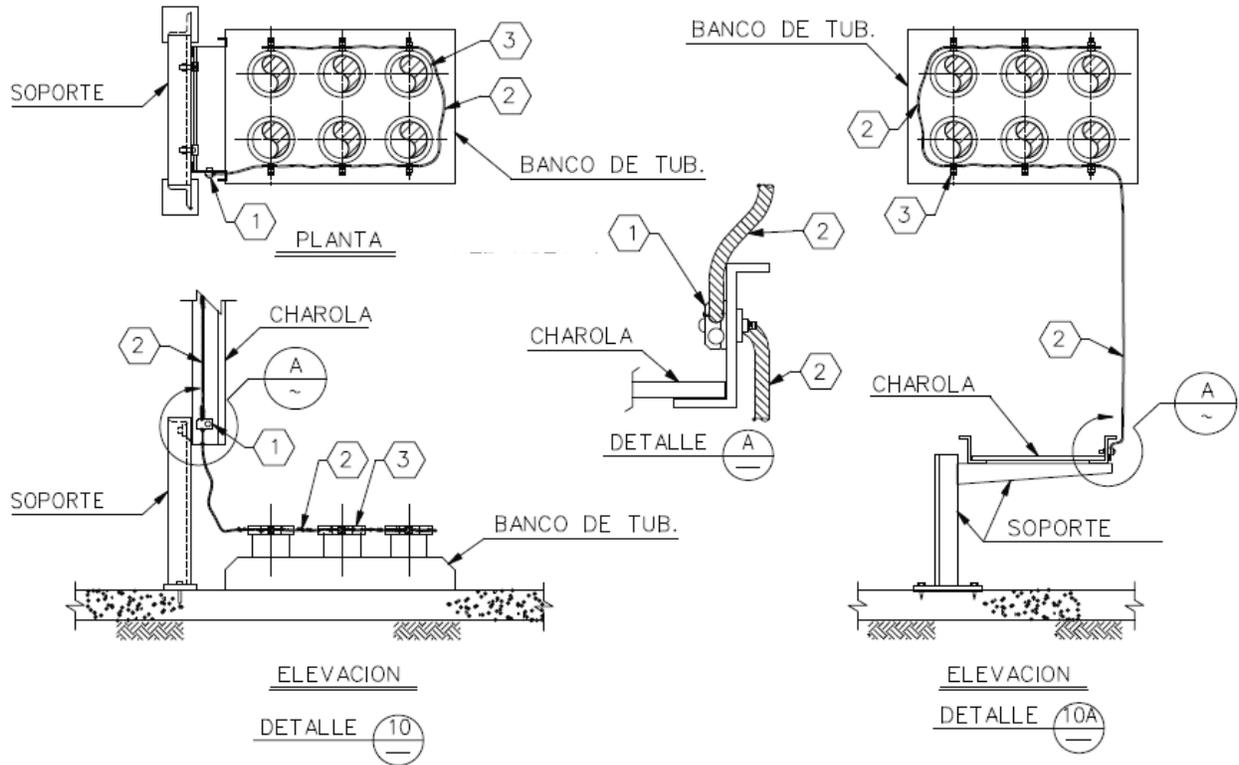
DETALLE



SIN ESC.

LISTA DE MATERIALES

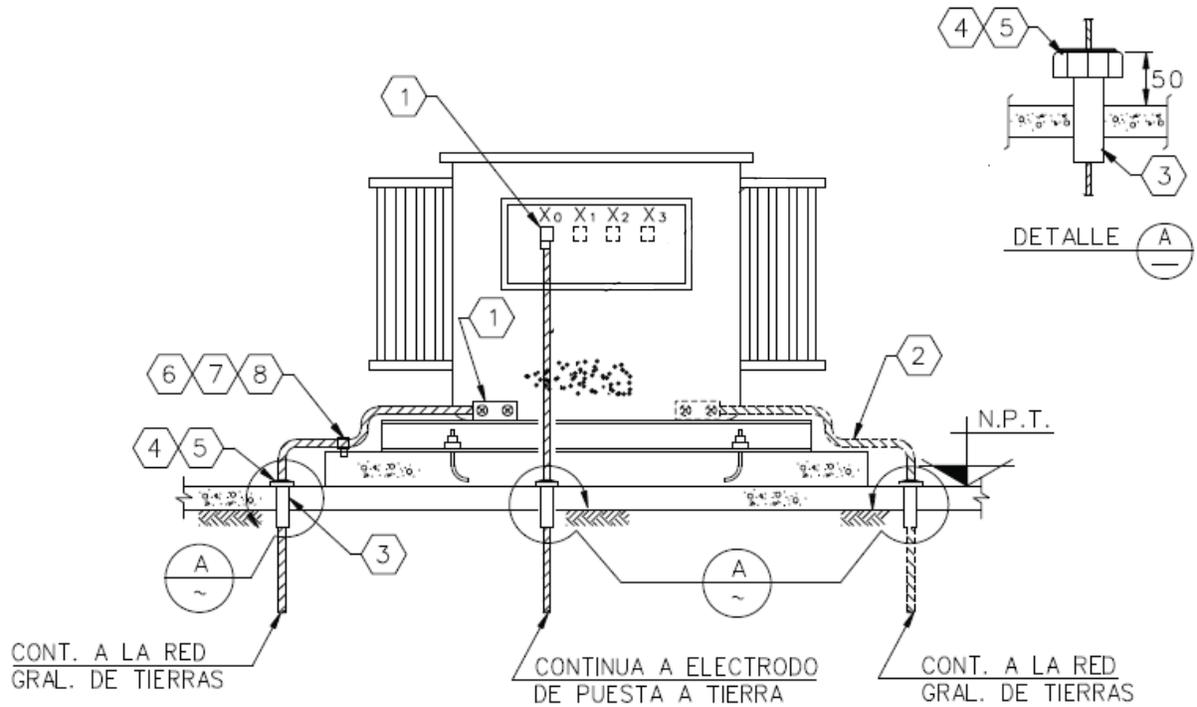
PARTIDA	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	9			
1	3	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR	<FABRICA>
2	REQ.	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<REQ>
3	1	pieza	ABRAZADERA PARA CABLE DESNUDO # 2425	<No Size>
4	1	pieza	PERNO PARA CONCRETO 6.35 DIAMETRO Y 20 mm LONG.	<->
5	1	pieza	CARTUCHO CALIBRE 27	<ROJO>



CONEXION A TIERRA DE CONDUITS EN SALIDA DE DUCTO SUBTERRANEO (PLANTILLAS)

DETALLE 10 10A
 SIN ESC.

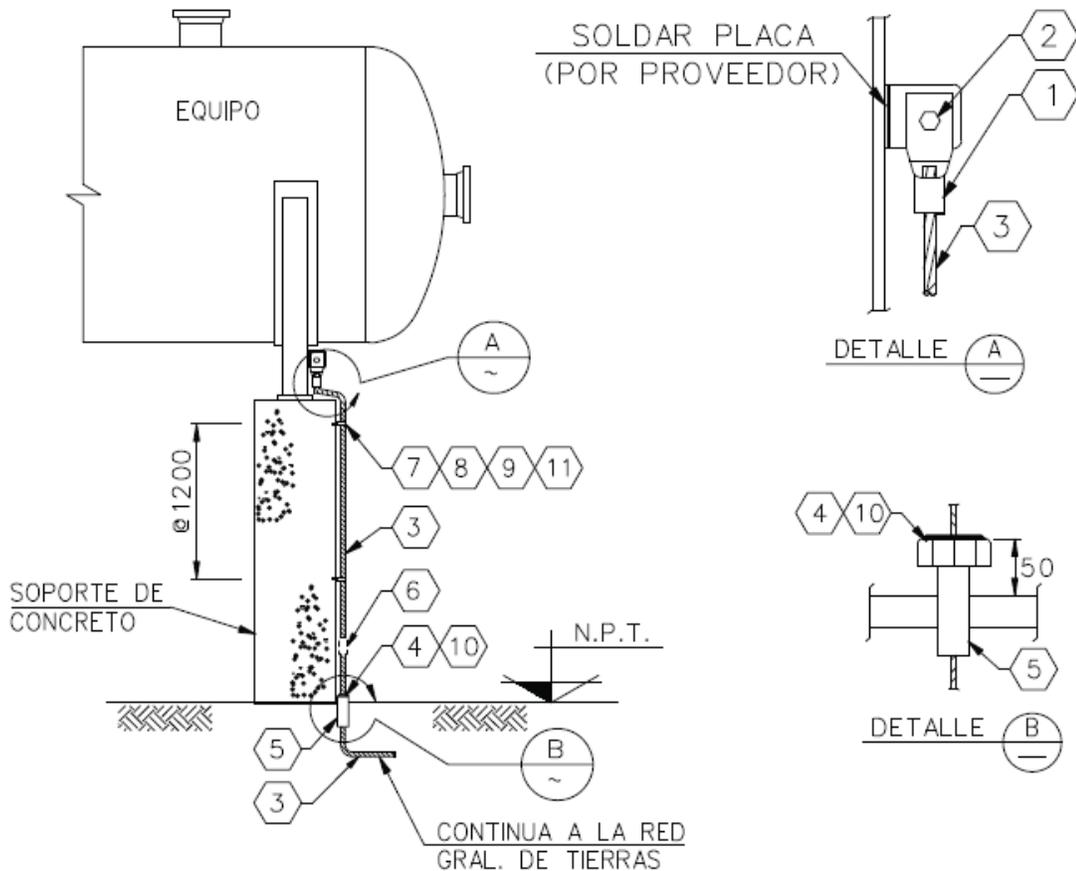
LISTA DE MATERIALES					
PARTIDA	CANTIDAD		UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	10	10A			
1	1	4	pieza	CONEC A COMP LINEA-DERIV # YGHC29C29	<1,2/0-1,2/0>
2	REQ.	REQ.	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2-7>
3	REQ.	REQ.	pieza	MONITOR FUNDIDO P/CONDUIT AC 3/4" # 1032	21



CONEXION A TIERRA DE NEUTRO Y GABINETE DE TRANSFORMADOR

DETALLE 11
SIN ESC.

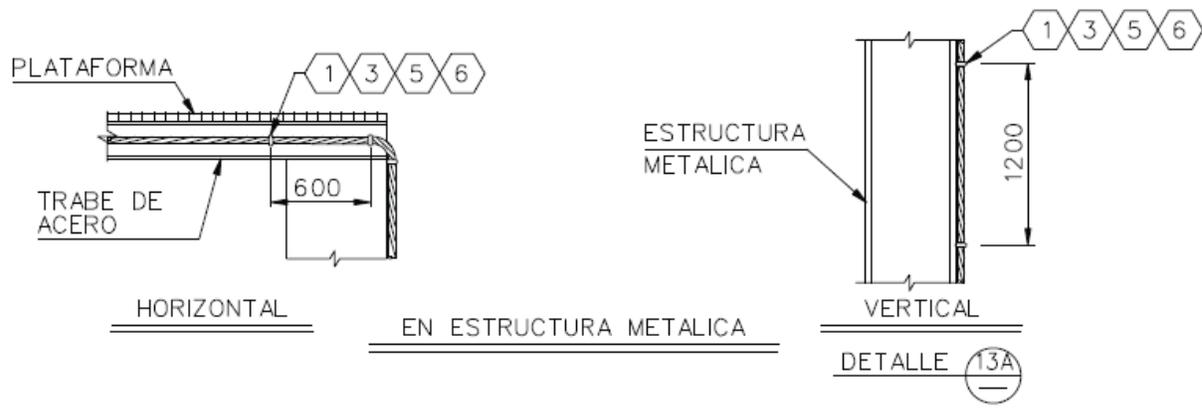
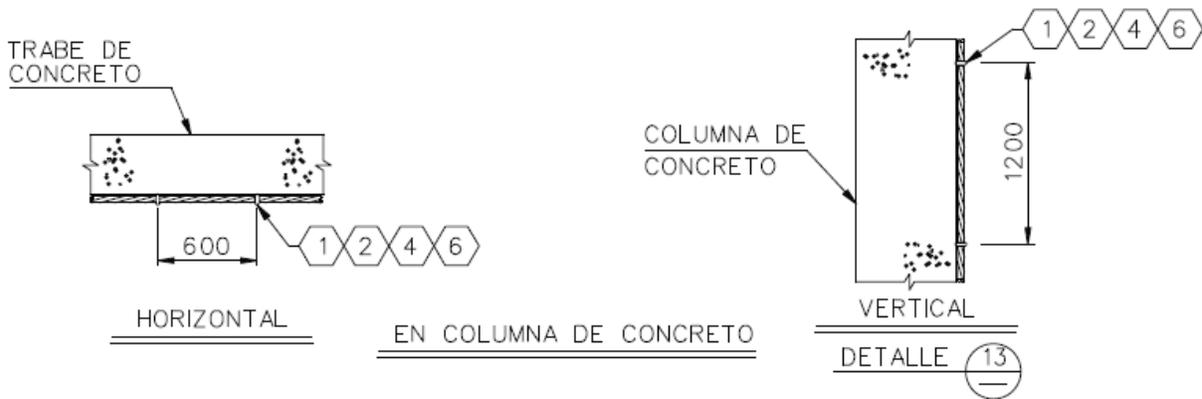
LISTA DE MATERIALES				
PARTIDA	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	11			
1	1	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR	<FABRICA>
2	REQ.	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2/0-19 , 4/0-19>
3	0.9	metro	TUBO COND T/PESADO AC GALV 3/4"	21
4	3	pieza	MONITOR FUNDIDO P/CONDUIT AC 3/4" # 1032	21
5	0.15	kg	COMP CHICO "A" CON FIBRA CHICO "X" # A4	<1-0.5>
6	1	pieza	ABRAZADERA PARA CABLE DESNUDO # 2425	<No Size>
7	1	pieza	PERNO PARA CONCRETO 6.35 DIAMETRO Y 20 mm LONG.	<->
8	1	pieza	CARTUCHO CALIBRE 27	<ROJO>



CONEXION A TIERRA DE RECIPIENTES, TANQUES HORIZONTALES O VERTICALES

DETALLE 12
SIN ESC.

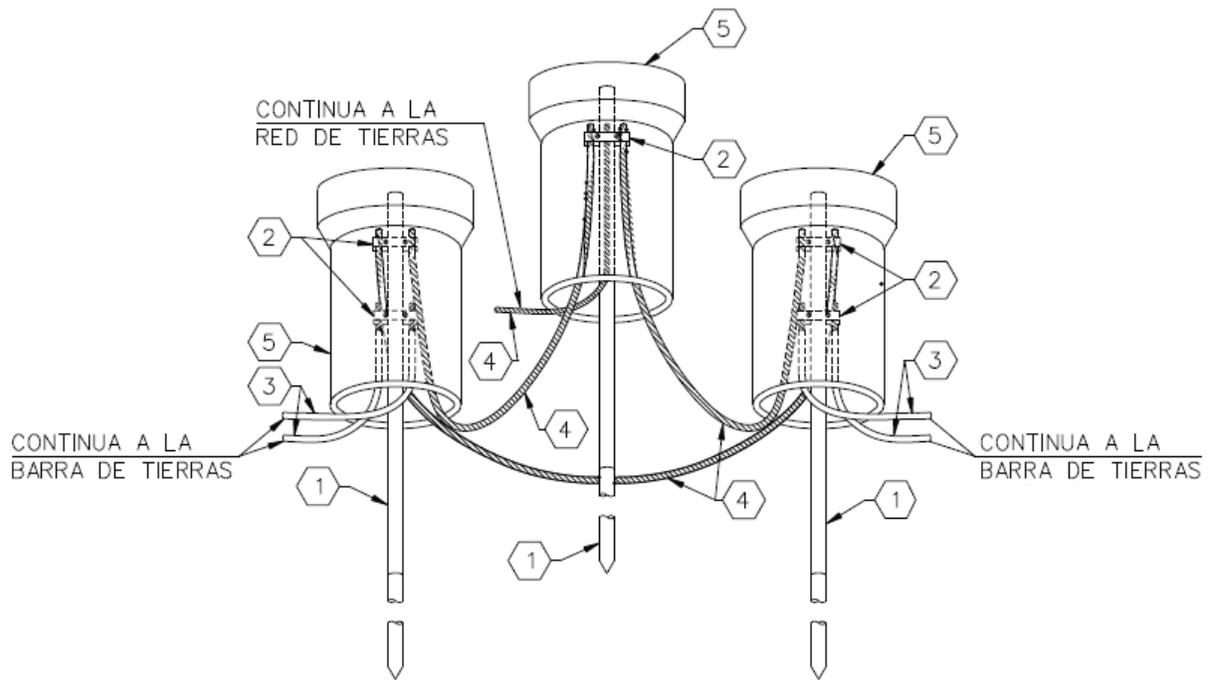
LISTA DE MATERIALES				
PARTIDA	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	12			
1	1	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR # YA2C	<2-12.7>
2	1	pieza	TORNILLO CZA HEX. BCE CAT. 50x100 HEX BOX	<12.7 x 25.4>
3	REQ.	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2-7>
4	1	pieza	MONITOR FUNDIDO P/CONDUIT AC 3/4" # 1032	21
5	0.3	TRAMO	TUBO COND T/PESADO AC GALV 3/4"	21
6	1	pieza	EMPALME A COMPRESION YGHS2C	2
7	3	pieza	ABRAZADERA PARA CABLE DESNUDO # 2425	<No Size>
8	3	pieza	PERNO PARA CONCRETO 6.35 DIAMETRO Y 20 mm LONG.	<->
9	3	pieza	CARTUCHO CALIBRE 27	<ROJO>
10	0.05	pieza	COMP CHICO "A" CON FIBRA CHICO "X" # A4	<1-0.5>
11	REQ.	pieza	TUERCA Y ROLDANA DE 6.35 DIAMETRO	<->



SOPORTE DE CABLE DE TIERRAS

DETALLE 13 13A
 SIN ESC.

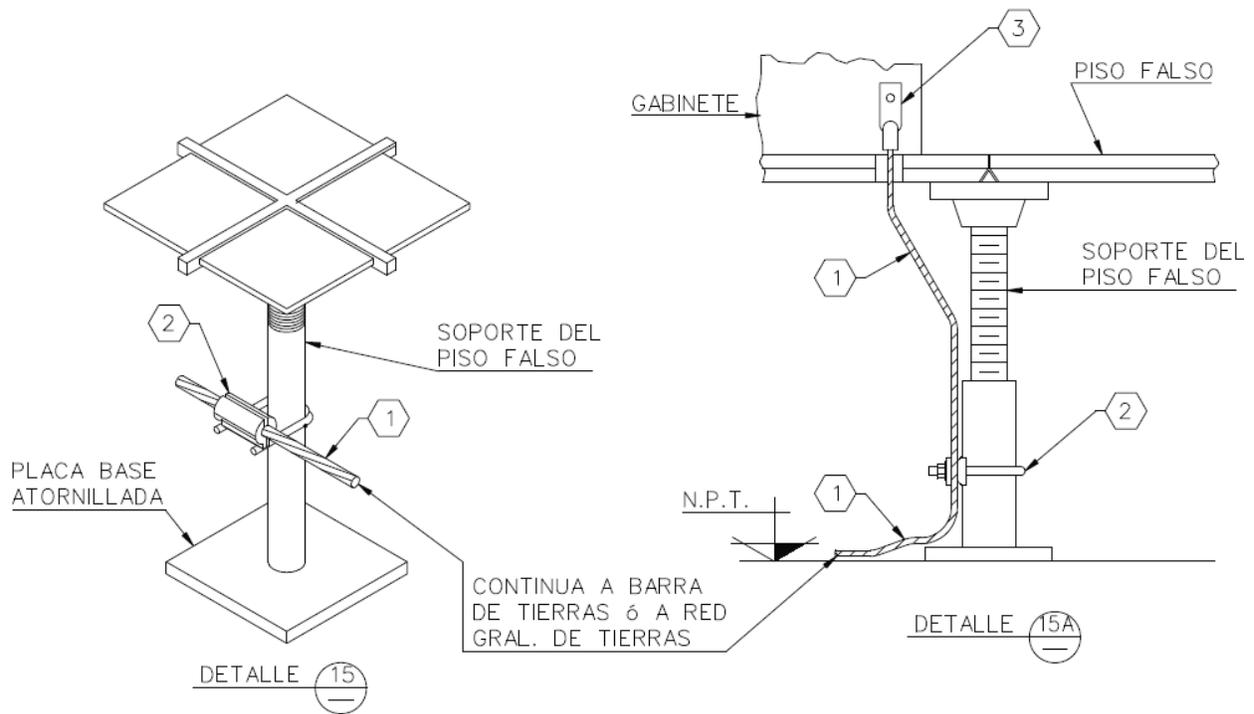
LISTA DE MATERIALES					
PARTIDA	CANTIDAD		UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	13	13A			
1	2	2	pieza	ABRAZADERA PARA CABLE DESNUDO # 2425	<No Size>
2	2	-	pieza	PERNO PARA CONCRETO 6.35 DIAMETRO Y 20 mm LONG.	<->
3	-	2	pieza	PERNO ROSC AC INOX "X-BT-ER-M6/7-SN4" 2107275	<No Size>
4	2	-	pieza	CARTUCHO CALIBRE 27	<ROJO>
5	-	2	pieza	CARTUCHO CALIBRE 27	<MORADO>
6	REQ.	REQ.	pieza	TUERCA Y ROLDANA DE 6.35 DIAMETRO	<->



ARREGLO EN DELTA PARA RED DE TIERRAS EQUIPO ELECTRONICO

DETALLE 14
SIN ESC.

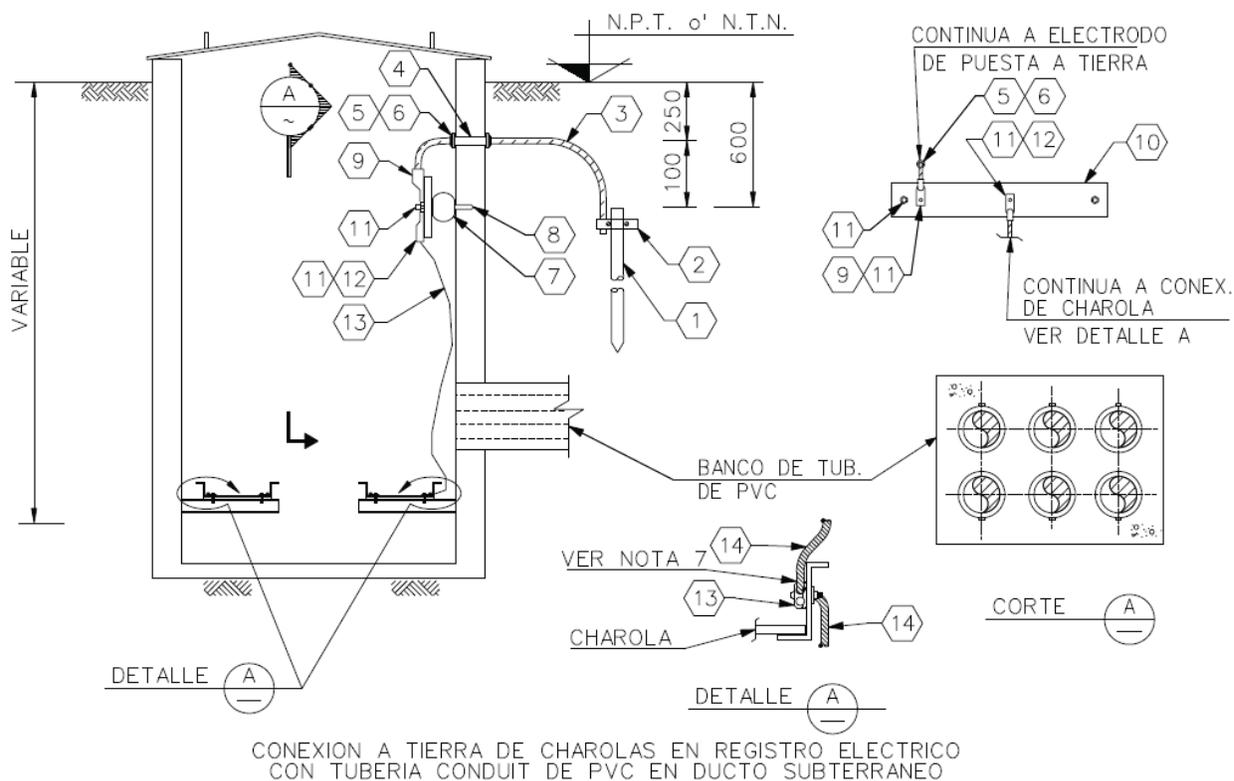
LISTA DE MATERIALES				
PARTIDA	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	14			
1	3	pieza	VARILLA TIERRAS 19 mm DIAM Y 0.25 MM COOPERWELD	3000
2	5	pieza	CONEC MEC 3 CAB-VARILLA 16 MM # GK6426	<2/0-250>
3	1	metro	CABLE COBRE AISLADO VERDE/TRAZA AMARILLA	<4/0-19>
4	11.5	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<4/0-19>
5	3	pieza	TUBO P/REGISTRO SISTEMA DE TIERRA CONCRETO	250



CONEXION A TIERRA DEL SOPORTE DE PISO FALSO Y GABINETE

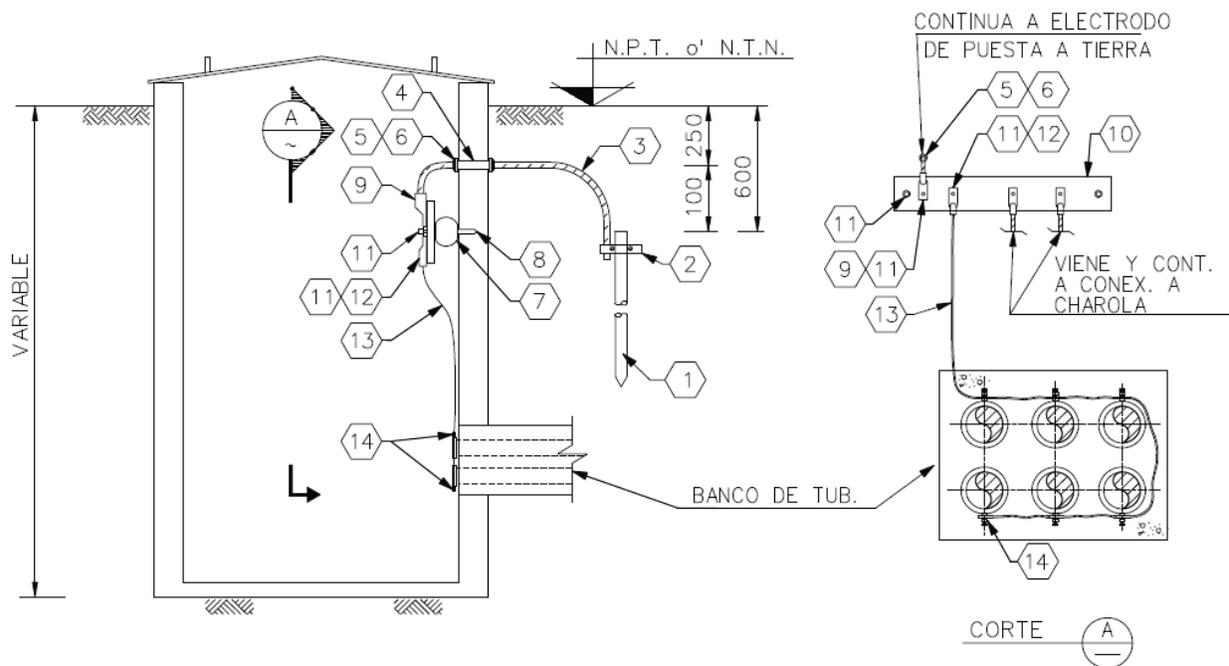
DETALLE 15 15A
SIN ESC.

LISTA DE MATERIALES					
PARTIDA	CANTIDAD		UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	15	15A			
1	REQ.	REQ.	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2-7>
2	1	1	pieza	CONECTOR MECANICO TUBO-CABLE "GAR"	<4-2/0>
3	-	1	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR # YA2C	<2-12.7>



DETALLE 16
SIN ESC.

LISTA DE MATERIALES				
PARTIDA	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	16			
1	1	pieza	VARILLA TIERRAS 19 mm DIAM Y 0.25 MM COOPERWELD	3000
2	1	pieza	CONEC MEC 3 CAB-VARILLA 16 MM # GK6426	<2-2/0>
3	REQ.	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2/0-19>
4	0.3	metro	TUBO COND T/PESADO AC GALV 3/4"	21
5	2	pieza	MONITOR FUNDIDO P/CONDUIT AC 3/4" # 1032	21
6	0.01	kg	COMP CHICO "A" CON FIBRA CHICO "X" # A4	<1-0.5>
7	2	pieza	AISLADOR TIPO BARRIL-SOPORTE	<51 x 3>
8	2	pieza	ANCLAJE KIWIK BOLT III	<6.35-57.1>
9	2	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR # YA2C	<2/0-12.7>
10	1	pieza	BARRA DE COBRE P/TIERRAS 6.35 mm ESPESOR	<4.06-102>
11	3	pieza	TORNILLO CZA HEX. BCE CAT. 50x100 HEX BOX	<12.7 x 25.4>
12	2	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR # YA2C	<2-12.7>
13	1	pieza	CONEC MEC 2 CABLE A SUP PLANA TIPO "GC"	<4-2/0>
14	1	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2-7>



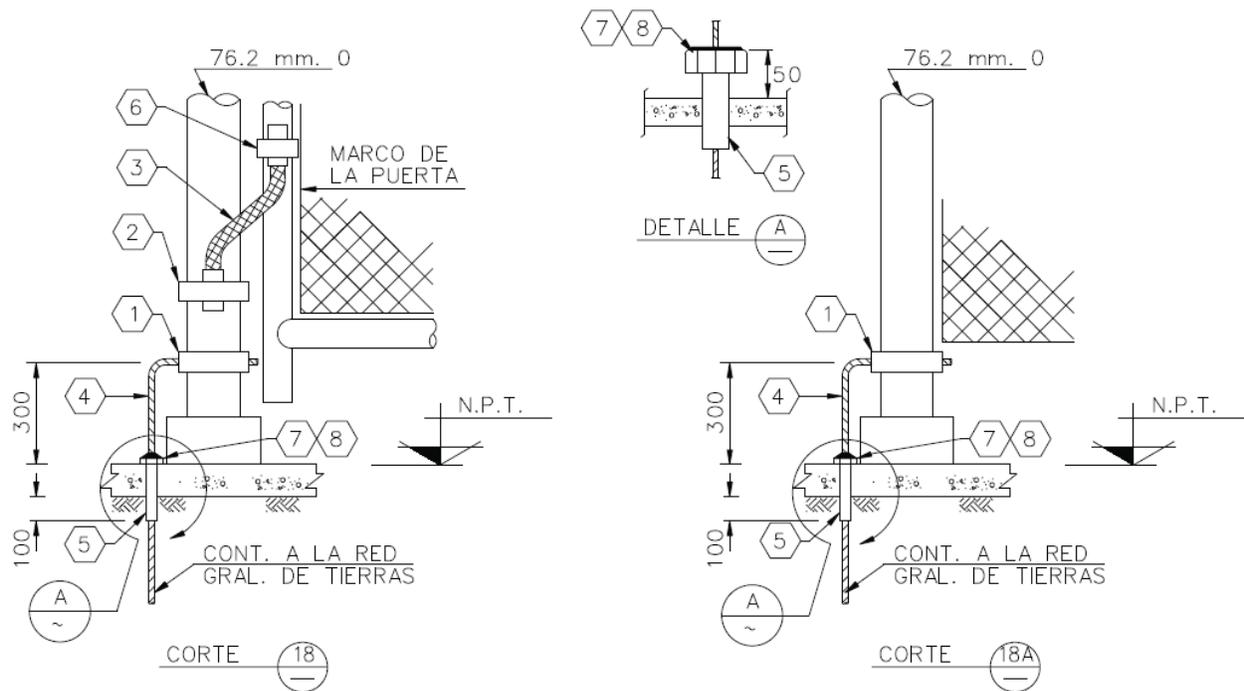
DETALLE A

CONEXION A TIERRA DE TUBERIA CONDUIT DE AC. GALV. EN DUCTOS SUBTERRANEOS EN REGISTROS ELECTRICOS (480 , 4160 , 13800 V)

DETALLE 17
SIN ESC.

LISTA DE MATERIALES

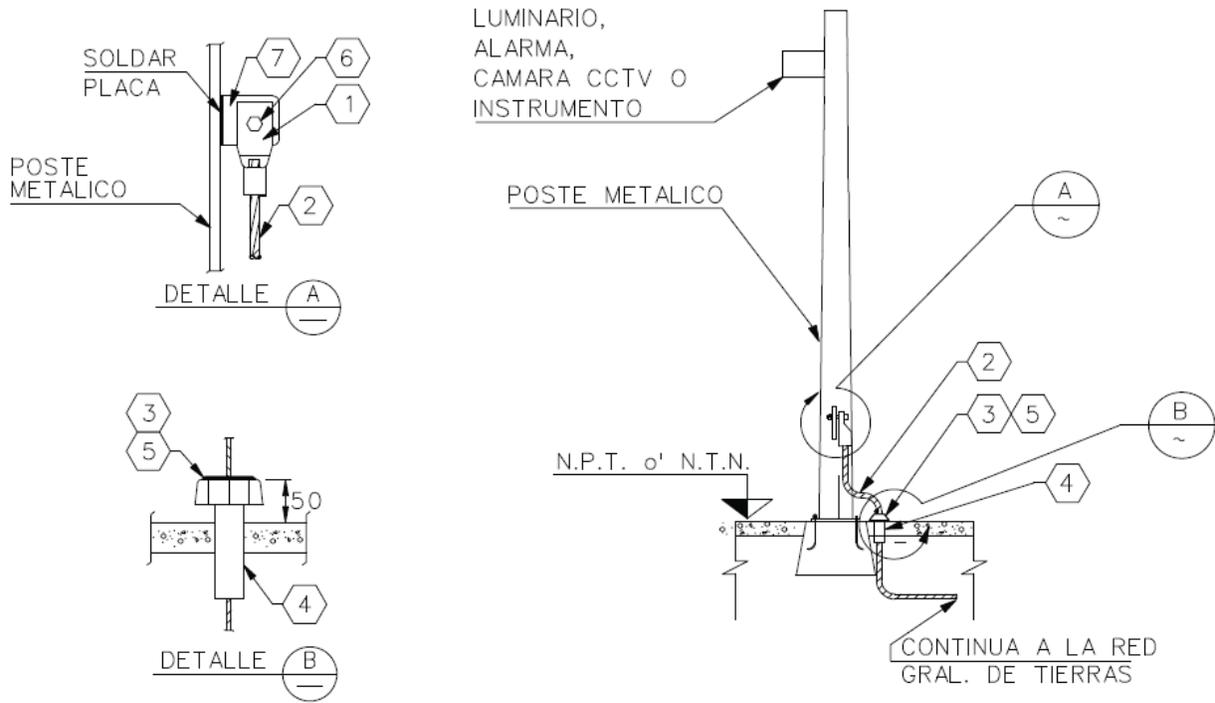
PARTIDA	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	17			
1	1	pieza	VARILLA TIERRAS 19 mm DIAM Y 0.25 MM COOPERWELD	3000
2	1	pieza	CONEC MEC 3 CAB-VARILLA 16 MM # GK6426	<2-2/0>
3	3.5	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2/0-19>
4	0.3	metro	TUBO COND T/PESADO AC GALV 3/4"	21
5	2	pieza	MONITOR FUNDIDO P/CONDUIT AC 3/4" # 1032	21
6	0.01	kg	COMP CHICO "A" CON FIBRA CHICO "X" # A4	<1-0.5>
7	2	pieza	AISLADOR TIPO BARRIL-SOPORTE	<51 x 3>
8	2	pieza	ANCLAJE KIWIK BOLT III	<6.35-57.1>
9	2	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR # YA2C	<2/0-12.7>
10	1	pieza	BARRA DE COBRE P/TIERRAS 6.35 mm ESPESOR	<4.06-102>
11	4	pieza	TORNILLO CZA HEX. BCE CAT. 50x100 HEX BOX	<12.7 x 25.4>
12	3	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR # YA2C	<2-12.7>
13	REQ.	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2-7>
14	1	pieza	MONITOR CON FE P/CONDUIT ON BORNE A TIERRA	<REQ>



CONEXION A TIERRA DE PUERTA Y CERCA DE ALAMBRE

DETALLE 18 18A
SIN ESC.

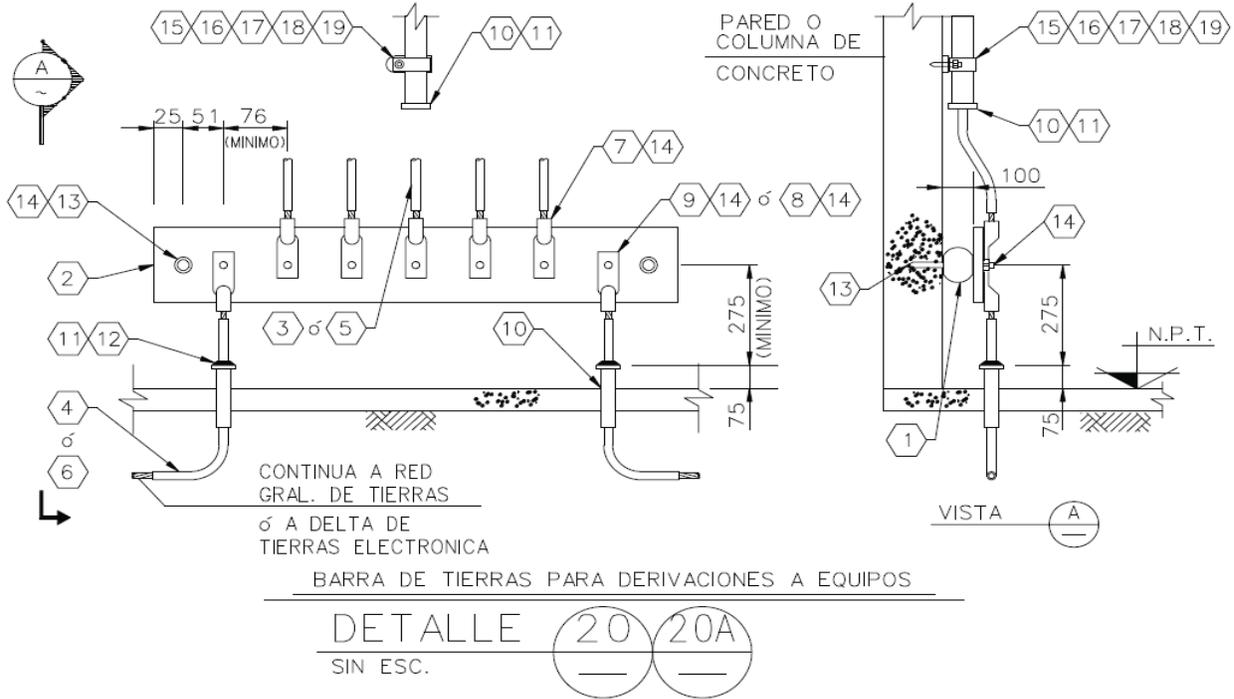
LISTA DE MATERIALES					
PARTIDA	CANTIDAD		UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	18	18A			
1	1	1	pieza	CONECTOR MEC. 1 CABLE A TUB. "GAR"	<4-2/0>
2	1	-	pieza	CONECTOR MEC. BARRA A TUB. "GG"	<76.5-50.8>
3	1	-	pieza	TRENZA FLEXIBLE EN CASQUILLO "BG12"	-
4	REQ.	REQ.	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2/0-19>
5	0.3	0.3	TRAMO	TUBO COND T/PESADO AC GALV 3/4"	21
6	1	-	pieza	CONECTOR MEC. BARRA A TUB. "GG"	<21>
7	1	1	pieza	MONITOR FUNDIDO P/CONDUIT AC 3/4" # 1032	21
8	0.05	0.05	kg	COMP CHICO "A" CON FIBRA CHICO "X" # A4	<1-0.5>



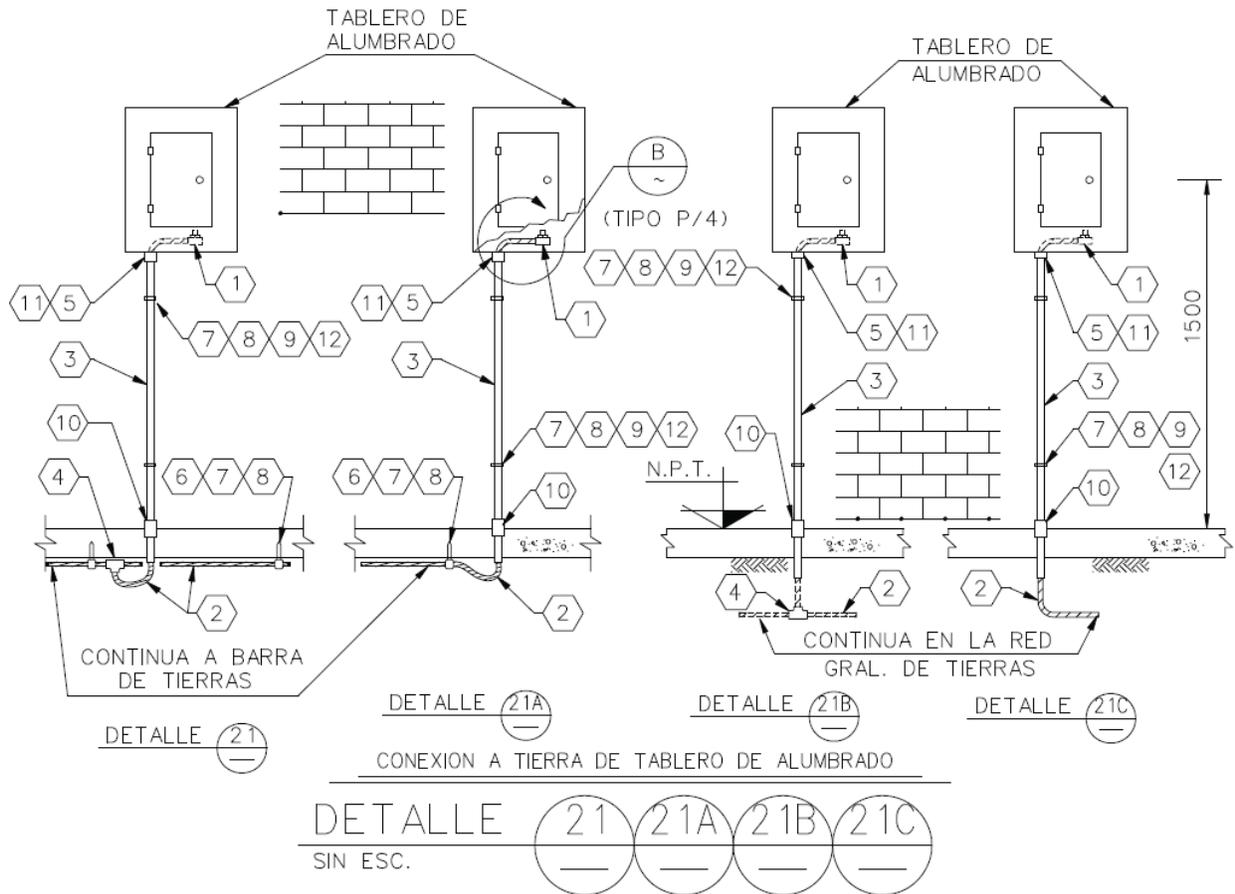
CONEXION A TIERRA DE POSTE METALICO

DETALLE 19
SIN ESC.

LISTA DE MATERIALES				
PARTIDA	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	19			
1	1	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR # YA2C	<2-12.7>
2	REQ.	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2-7>
3	0.05	kg	COMP CHICO "A" CON FIBRA CHICO "X" # A4	<1-0.5>
4	0.3	TRAMO	TUBO COND T/PESADO AC GALV 3/4"	21
5	1	pieza	MONITOR FUNDIDO P/CONDUIT AC 3/4" # 1032	21
6	1	pieza	TORNILLO CZA HEX. BCE CAT. 50x100 HEX BOX	<12.7 x 25.4>
7	51	mm	SOLERA DE AC AL CARBON 6.35 mm DE ESPESOR	<51>



PARTIDA	CANTIDAD		UNIDAD	DESCRIPCION	TAMAÑO
	20	20A			
1	2	2	pieza	AISLADOR TIPO BARRIL-SOPORTE	<51 x 3>
2	1	1	pieza	BARRA DE COBRE P/TIERRAS 6.35 mm ESPESOR	<4.06-102>
3	-	REQ.	metro	CABLE COBRE AISLADO VERDE	<2-7>
4	-	REQ.	metro	CABLE COBRE AISLADO VERDE	<4/0-19>
5	REQ.	-	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2-7>
6	REQ.	-	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2/0-19>
7	4	4	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR # YA2C	<2-12.7>
8	2	-	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR # YA2C	<2/0-12.7>
9	-	2	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR # YA2C	<4/0-12.7>
10	0.6	0.6	metro	TUBO COND T/PESADO AC GALV 3/4"	21
11	2	2	pieza	MONITOR FUNDIDO P/CONDUIT AC 3/4" # 1032	21
12	0.1	0.1	kg	COMP CHICO "A" CON FIBRA CHICO "X" # A4	<1-0.5>
13	2	2	pieza	ANCLAJE KIWIK BOLT III	<6.35-57.1>
14	REQ.	REQ.	pieza	TORNILLO CZA HEX. BCE CAT. 50x100 HEX BOX	<12.7 x 25.4>
15	1	1	pieza	ABRAZADERA UÑA HIERRO MAL GALV 3/4" #511	21
16	1	1	pieza	PERNO PARA CONCRETO 6.35 DIAMETRO Y 20 mm LONG.	<->
17	1	1	pieza	CARTUCHO CALIBRE 27	<ROJO>
18	1	1	pieza	TUERCA Y ROLDANA DE 6.35 DIAMETRO	<->
19	1	1	pieza	ESPACIADOR PARA TUBO CONDUIT CAT. CB3	21



LISTA DE MATERIALES

PARTID A	CANTIDAD				UNIDA D	DESCRIPCION	TAMAÑO
	21	21A	21B	21C			
1	1	1	1	1	pieza	ZAPATA TERM COMP LARGO 1BAR # YA2C	<2-12.7>
2	REQ	REQ	REQ	REQ	metro	CABLE DESNUDO COBRE TEMPLE SEMIDURO	<2-7>
3	2	2	2	2	TRAMO	TUBO COND T/PESADO AC GALV 3/4"	21
4	1	-	1	-	pieza	CONEC A COMP LINEA-DERIV # YGHC29C29	<6,2-6,2>
5	1	1	1	1	pieza	MONITOR FUNDIDO P/CONDUIT AC 3/4" # 1032	21
6	2	1	-	-	pieza	ABRAZADERA PARA CABLE DESNUDO # 2425	<No Size>
7	4	3	2	2	pieza	PERNO PARA CONCRETO 6.35 DIAMETRO Y 20 mm LONG.	<->
8	4	3	2	2	pieza	CARTUCHO CALIBRE 27	<ROJO>
9	4	3	2	2	pieza	ABRAZADERA UÑA HIERRO MAL GALV 3/4" #511	21
10	1	1	1	1	pieza	COPLER TIPO PESADO	21
11	1	1	1	1	pieza	CONTRATUERCA FUNDIDA	21
12	2	2	2	2	pieza	ESPACIADOR PARA TUBO CONDUIT CAT. CB3	21

4.13 Instalación física del sistema de tierra

4.13.1 Proceso

Prerrequisitos:

1. El personal de pruebas para medición de sistema de tierras debe estar capacitado.
2. Los equipos utilizados en las pruebas al sistema de tierras deberán tener su certificado de calibración.
3. Terminación de la instalación.
4. El sistema o red de tierras a probarse haya sido transferido por parte de construcción a puesta en servicio
5. Durante las pruebas puede ocurrir un aterrizaje accidental, se pueden obtener grandes diferencias de potencial entre el equipo de prueba y tierra, por lo que es necesario proteger al personal que participa en las pruebas.
 - Es importante indicar que debe emplearse el equipo de seguridad adecuado como: casco, botas, guantes, lentes, etc. Durante las pruebas

4.13.2. Equipo de prueba

- Óhmetro de tierras.
- Multímetro digital.
- Ampérmetro de gancho.
- Varillas de cobre de 19.1 mm ó 15.9 mm x 3 m.
- Cable de cobre aislado calibre 12 AWG.

4.13.3. Método de prueba

Medición de resistencia de tierra de una varilla (62%).

Este método es adaptado basándose en consideraciones gráficas, la conexión del equipo se muestra en la FIG 4.1

Este método se aplica únicamente cuando los tres elementos están en línea recta y la tierra es solo un electrodo, tubería o placa

Dependiendo de la longitud del electrodo, se especifica la distancia del electrodo de potencial y de corriente como se muestra en la Tabla 4.4 y Tabla 4.5

LONGITUD DEL ELECTRODO BAJO PRUEBA	DISTANCIA DEL ELECTRODO DE POTENCIAL P2 (m)	DISTANCIA DEL ELECTRODO DE CORRIENTE C2 (m)
1.83	13.72	21.96
2.44	15.25	24.40
3.05	16.17	26.84
3.66	18.30	29.28

TABLA 4.4 Valores de distancia de los electrodos de prueba, en función de la longitud de la varilla

El medidor de uso común para la prueba de resistencia de tierra es el óhmetro de tierras, que utiliza el electrodo de potencial y otro de corriente. El electrodo de corriente se usa para hacer circular una corriente a través del sistema de tierras a probar.

El medidor consta de 4 terminales (C1, C2, P1 y P2), la prueba se realiza mediante la técnica de los tres puntos, en el cual dos terminales (P1, C1) del equipo de prueba se puentean para conectarse directamente al electrodo de la red de tierras que se pretende probar.

La terminal de potencial (P2) se conecta al electrodo de potencial P2 y la terminal de corriente (C2) al electrodo de corriente C2 como se muestra en la FIG 4.1

Las varillas de prueba P2, C2 deberán clavarse a una profundidad de 30 a 60 cm aproximadamente, dependiendo de las varillas del equipo de prueba. Este procedimiento se hace para las varillas de la red de tierras y se anotan los valores de resistencia en el formato

4.13.4. Medición de la continuidad y resistencia de la red de tierras

En este caso la manera de conexión del equipo es similar en el punto que en esta condición ya está conectada toda la red de tierras, el objetivo de esta prueba es verificar que no existan circuitos abiertos en la red y si se detectan estos corregirlos.

Se hace la medición en los diferentes puntos de la red y se anotan los valores de resistencia cuando la red está bien conectada. Los valores de resistencia en los diferentes puntos es similar.

Cuando los valores de resistencia son diferentes, se debe investigar la causa de la falla y corregirla.

Cuando se haya corregido la falla se repite la medición en ese punto y se anotan los resultados obtenidos.

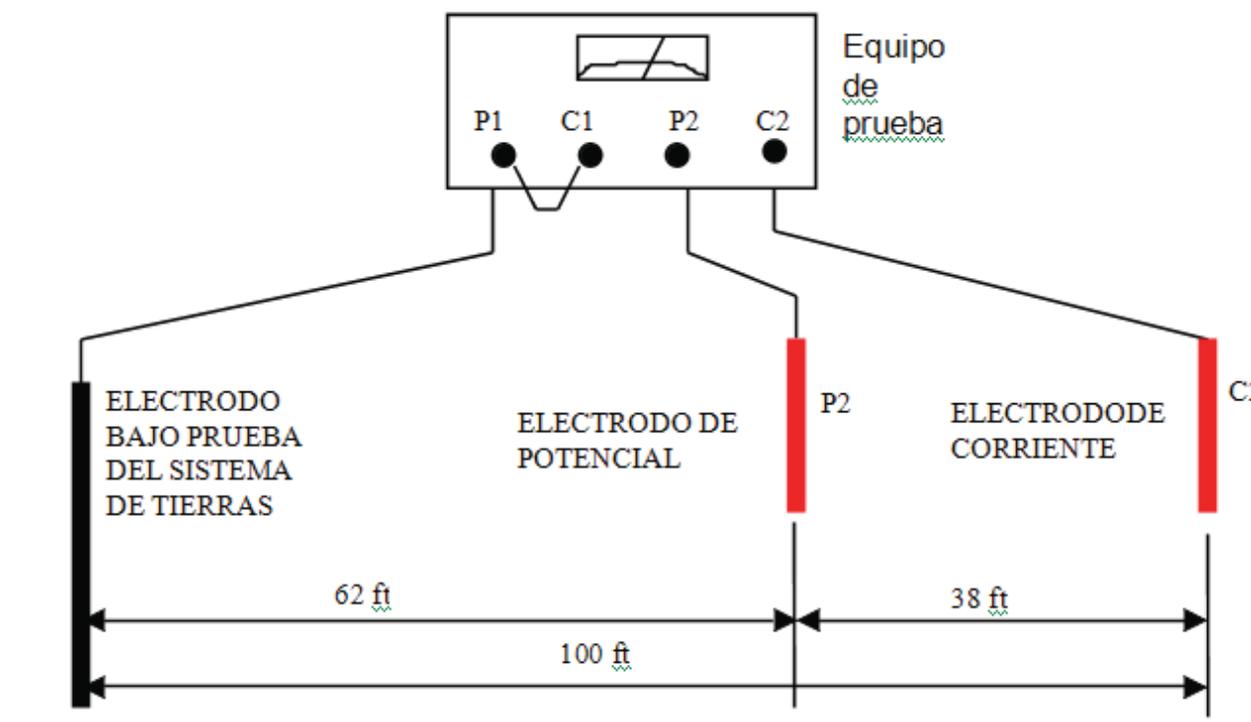


FIG 4.1 Medición de la resistencia de tierra de una varilla de cobre

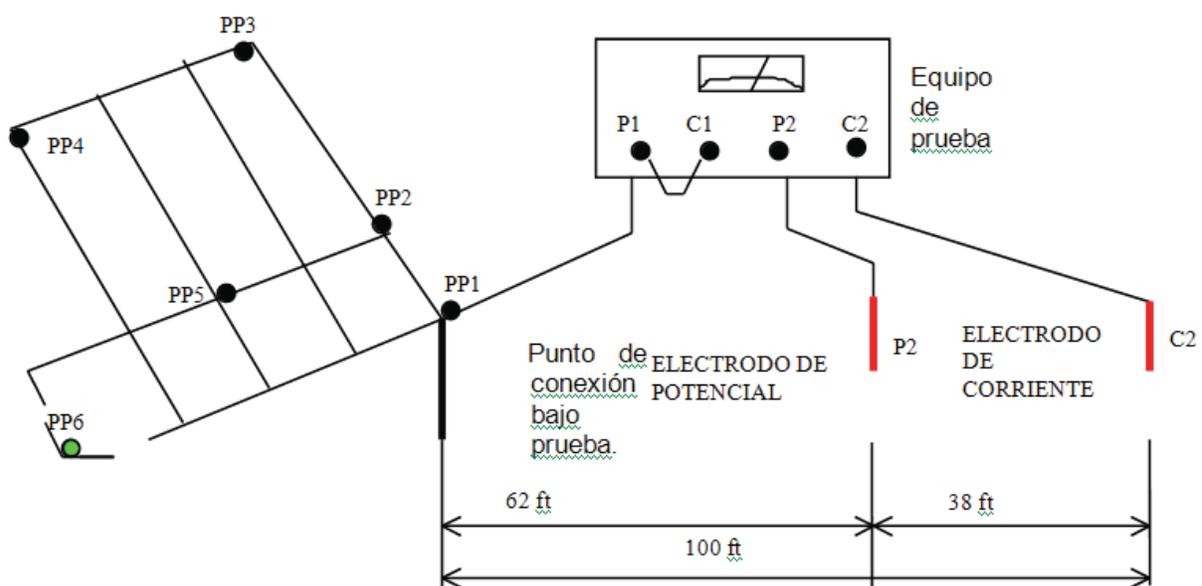


FIG 4.2 Medición de la continuidad y resistencia en la red de tierras

4.14. REPORTE FOTOGRAFICO



Foto 4.1. Área del proyecto con registros de tierra



Foto 4.2 Barra de tierra en subestaciones



Foto 4.3 Conector mecánico de tierra



Foto 4.4 Instalación de cable aislado de tierra

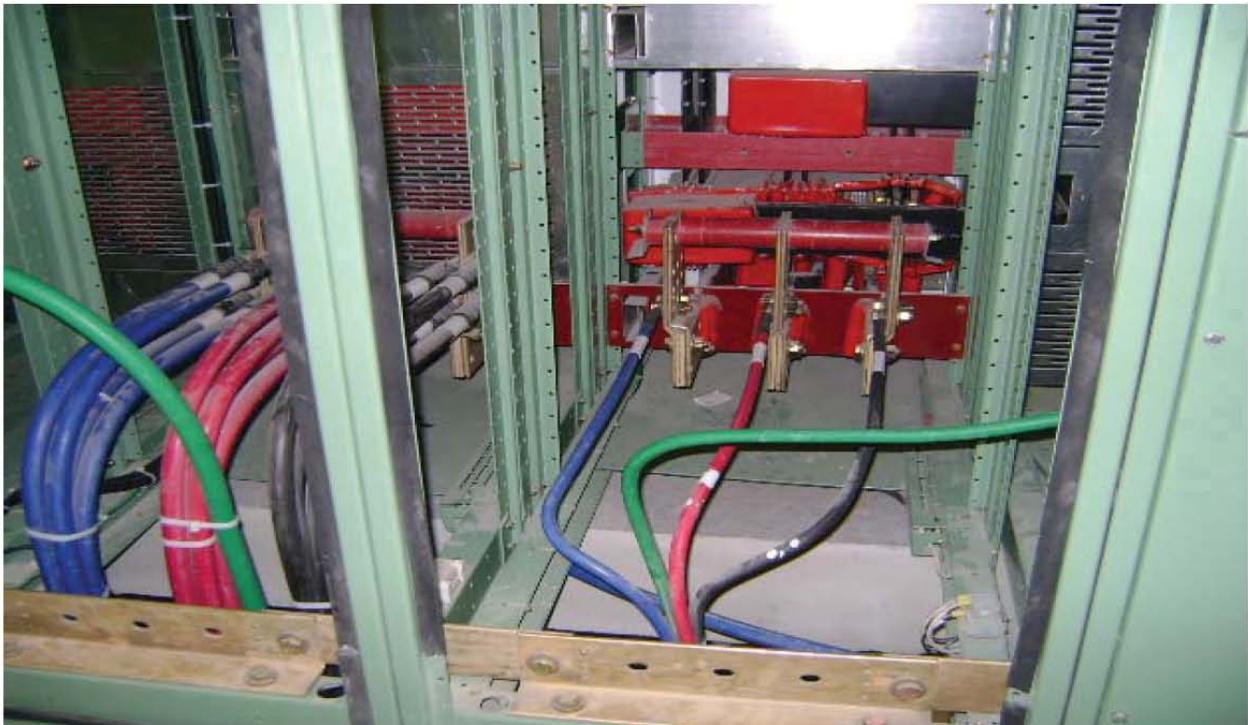


Foto 4.5 Cable de tierra en tableros eléctrico



Foto 4.6 Tableros eléctrico de baja tensión



Foto 4.7 Tableros eléctrico de media tensión



Foto 4.8 Varilla copperweld



Foto 4.9 Instalación de varilla copperweld



Foto 4.10 Puesto a tierra de transformadores

NOTAS:

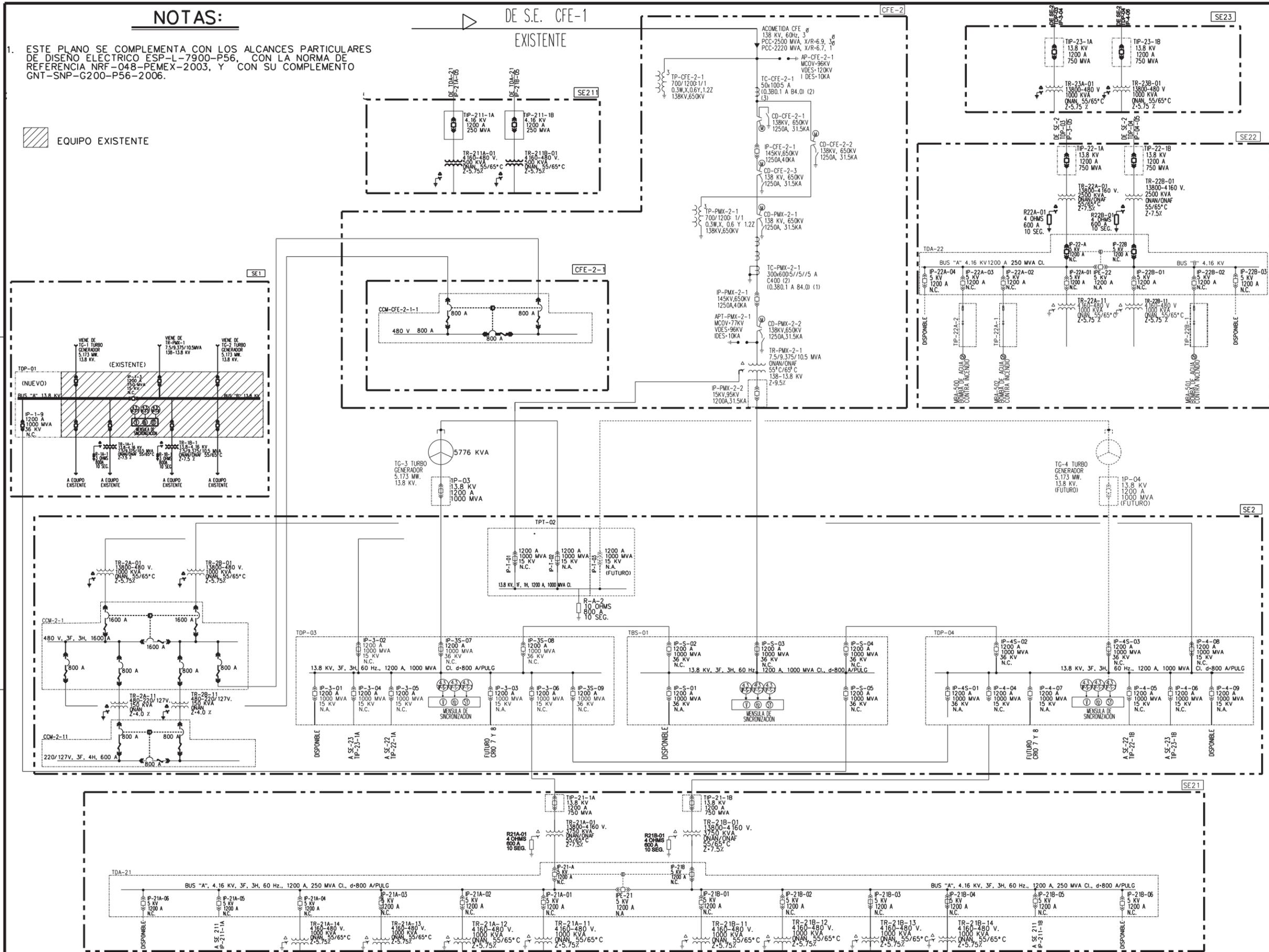
- ESTE PLANO SE COMPLEMENTA CON LOS ALCANCES PARTICULARES DE DISEÑO ELECTRICO ESP-L-7900-P56, CON LA NORMA DE REFERENCIA NRF-048-PEMEX-2003, Y CON SU COMPLEMENTO GNT-SNP-G200-P56-2006.

 EQUIPO EXISTENTE

DE S.E. CFE-1

EXISTENTE

CFE-2



C.P.	FECHA	REVISIONES	NUM.	DIBUJOS DE REFERENCIA
MCA		DESCRIPCION	FECHA	POR
B		APROBADO PARA CONSTRUCCION	DE/S	MA

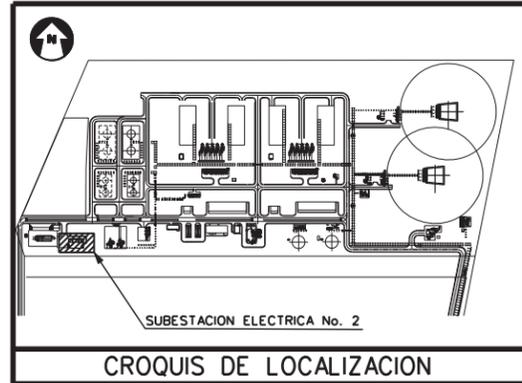
APROBACIONES DE PEMEX	
MC. ESPECIALISTA	FECHA
N/A	
SUPERVISOR DE INGENIERIA	FECHA
N/A	
DIRECTOR DE PROYECTO	FECHA
N/A	



PLANTAS CROGENCAS REYNOSA 5 Y 6	
TESIS ISRAEL REYES	
DIAGRAMA UNIFILAR	
general	
NUMERO DE DIBUJO:	0001
LOCALIZACION DEL PROYECTO:	REYNOSA, TAMPS.
REVISOR:	
SUPERVISOR:	
MC. DE PROYECTO:	
INGENIERO DE PROYECTO:	



LIMITE DE DIBUJO



N-2100.000

TANQUES
ESFERICOS
(FUTURO)

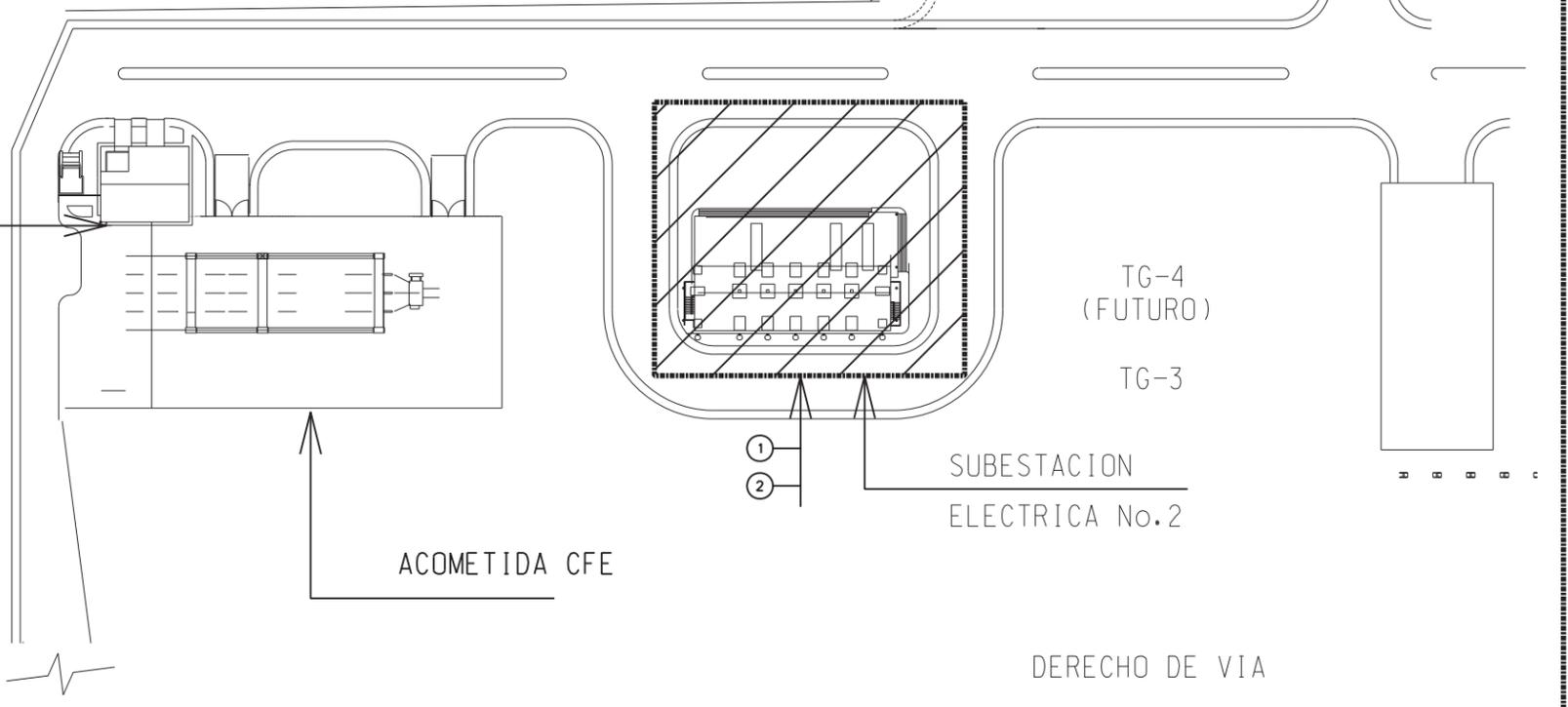
CASETA DE CONTROL DE ACCESO

CASETA DE MEDICION Y CUARTO
DE CONTROL DE C.F.E.

N-2000.000

- ①
- ②

RED DE TIERRAS, SUBESTACION 2, PLANTA ALTA
RED DE TIERRAS, SUBESTACION 2, PLANTA BAJA



COMETIDA CFE

SUBESTACION
ELECTRICA No. 2

TG-4
(FUTURO)
TG-3

DERECHO DE VIA

E-000.000

E-100.000

LIMITE DE DIBUJO

E-200.000

E-300.000

PLANTA

C.P.		FECHA		REVISIONES			NUM.			DIBUJOS DE REFERENCIA			APROBACIONES DE PEMEX	
MCA.		DESCRIPCION	FECHA	POR	V.o.Bo.	40-L-500	SIMBOLOGIA Y NOTAS GENERALES, RED DE TIERRAS Y PARARRAYOS		ING. ESPECIALISTA	FECHA				
0		APROBADO PARA CONSTRUCCION	AGO/16	N/A	N/A				N/A					

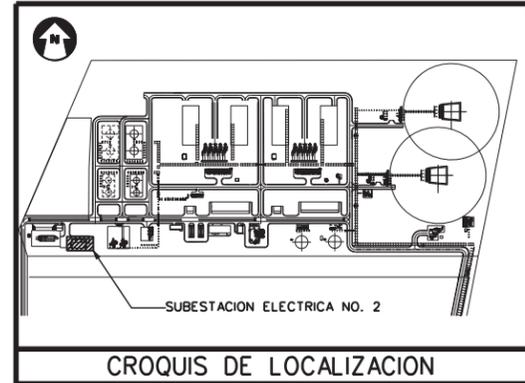
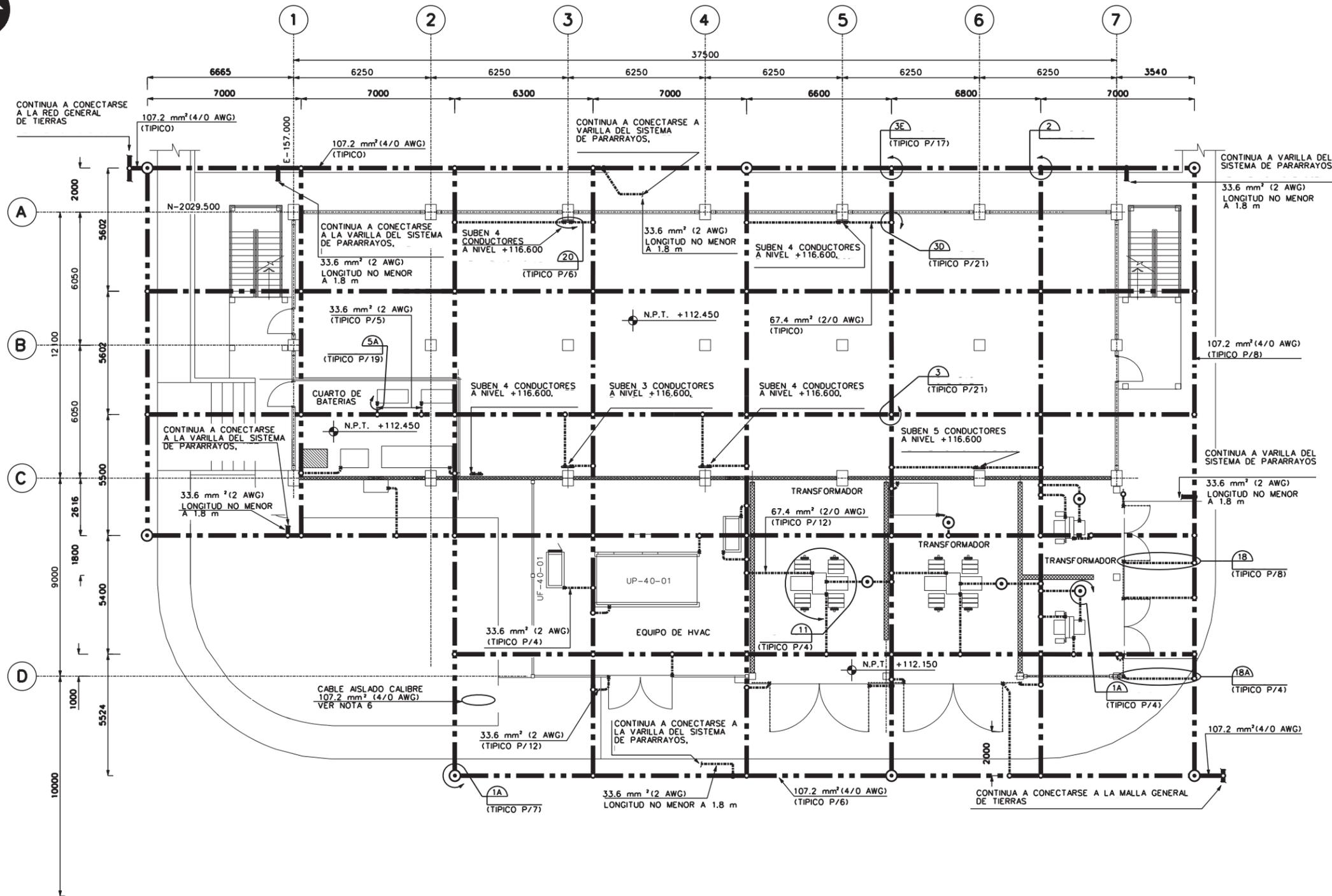
APROBACIONES DE PEMEX	
ING. ESPECIALISTA	FECHA
N/A	
SUPERVISION DE INGENIERIA	FECHA
N/A	
DIRECTOR DE PROYECTO	FECHA
N/A	

APROBACIONES DE PEMEX	
ING. ESPECIALISTA	FECHA
N/A	
SUPERVISION DE INGENIERIA	FECHA
N/A	
DIRECTOR DE PROYECTO	FECHA
N/A	



DIBUJO:		HOJAS	
REVISO:		HOJAS	
SUPERVISOR:		HOJAS	
ING. DE PROYECTO:		HOJAS	
GERENTE DE PROYECTO:		HOJAS	
ESCALA: 1:75	ACOT:		

PLANTAS CRIOGENICAS REYNOSA 5 Y 6		NUMERO DE DIBUJO:	0003	REV.	0
TESIS ISRAEL REYES					
RED DE TIERRAS, PLANO LLAVE					
subestacion 2					
LOCALIZACION DEL PROYECTO: REYNOSA, TAMPS.					



NOTAS

- 1.- PARA SIMBOLOGIA Y NOTAS GENERALES, VER PLANO
- 2.- ESTE PLANO, DEBERA TRABAJARSE EN CONJUNTO CON LOS DIBUJOS DE REFERENCIA.
- 3.- LOS NIVELES DE PISO TERMINADO SON +112.150 Y +112.450.
- 4.- PARA LISTA DE MATERIALES, VER DOCUMENTO DETALLES.
- 5.- EN LA INSTALACION DE BARRAS DE TIERRA FISICA Y ELECTRONICA, SE DEBERA CONSERVAR UNA SEPARACION MINIMA ENTRE ESTAS DE 500 mm CUANDO SE ENCUENTREN EN LA MISMA LINEA.
- 6.- LOS CABLES DERIVADOS DE LA RED DE TIERRAS ELECTRONICA SERAN DE COBRE SUAVE CON AISLAMIENTO TIPO THW-LS / THHW-LS COLOR VERDE CON TRAZAS AMARILLAS CALIBRE 107.2 mm² (4/0 AWG).
- 7.- LA BARRA DE TIERRAS ELECTRONICA DEBERA SER IDENTIFICADA MEDIANTE UN LETRERO EN LUGAR VISIBLE CON LA LEYENDA " BARRA DE TIERRAS ELECTRONICA ".

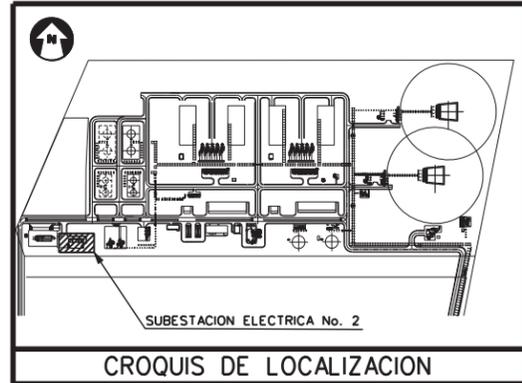
NOMENCLATURA

N.P.T. NIVEL DE PISO TERMINADO.

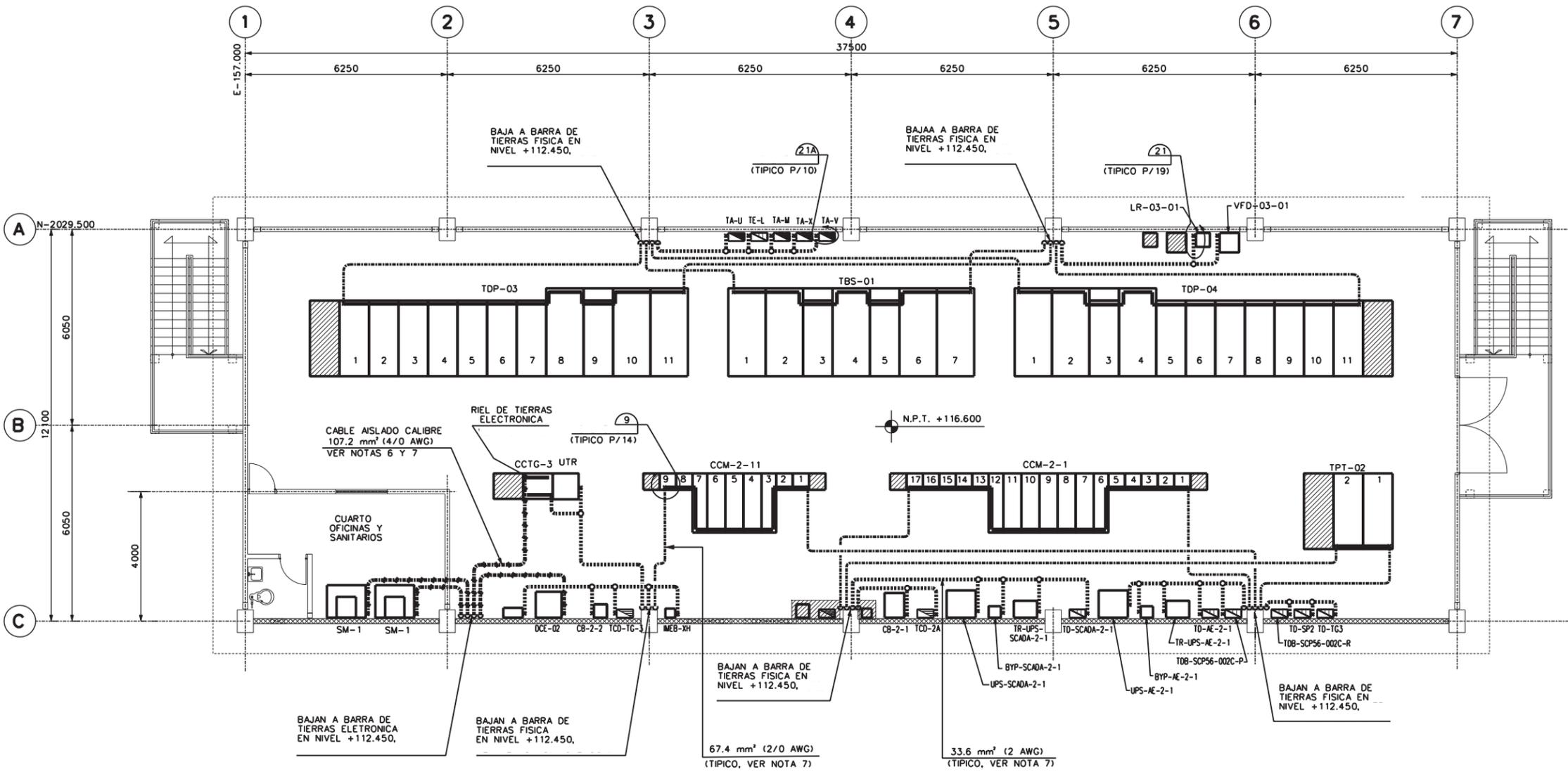
PLANTA BAJA

REVISIONES					DIBUJOS DE REFERENCIA					APROBACIONES DE PEMEX		DIBUJO:	NÚMERO:	PLANTAS CRIOGENICAS REYNOSA 5 Y 6	TESIS ISRAEL REYES	RED DE TIERRAS	subestacion 2, planta baja	LOCALIZACION DEL PROYECTO: REYNOSA, TAMPS.	NUMERO DE DIBUJO:	REV.
C.P.	FECHA	MCA.	DESCRIPCION	FECHA	POR	V.O.	NUM.	DESCRIPCION	ING. ESPECIALISTA	FECHA	ESCALA:									
		0	APROBADO PARA CONSTRUCCION				0006	SIMBOLOGIA Y NOTAS GENERALES, RED DE TIERRAS Y PARARRAYOS DETALLES DE INSTALACION, RED DE TIERRAS	N/A											





CROQUIS DE LOCALIZACION



NOTAS

- 1.- PARA SIMBOLOGIA Y NOTAS GENERALES, VER PLANO
- 2.- ESTE PLANO, DEBERA TRABAJARSE EN CONJUNTO CON LOS DIBUJOS DE REFERENCIA.
- 3.- EL NIVEL DE PISO TERMINADO ES +116.600.
- 4.- PARA LISTA DE MATERIALES, VER DETALLES DE INSTALACION.
- 5.- EN LA INSTALACION DE BARRAS DE TIERRA FISICA Y ELECTRONICA, SE DEBERA CONSERVAR UNA SEPARACION MINIMA ENTRE ESTAS DE 500 mm CUANDO SE ENCUENTREN EN LA MISMA LINEA.
- 6.- LOS CABLES DERIVADOS DE LA RED DE TIERRAS ELECTRONICA SERAN DE COBRE SUAVE CON AISLAMIENTO TIPO THW-LS / THHW-LS COLOR VERDE CON TRAZAS AMARILLAS O NARANJAS CALIBRE 67.4 mm² (2/0 AWG).
- 7.- TODO EL CABLE SE INSTALARA EN EL NIVEL INFERIOR DE LA LOSA.
- 8.- PARA IDENTIFICACION Y ARREGLO DE EQUIPO ELECTRICO, VER PLANO

NOMENCLATURA

N.P.T. NIVEL DE PISO TERMINADO.

SIMBOLOGIA

--- Cable de cobre aislado tipo THW-LS / THHW-LS color verde con trazas amarillas calibre 107.2 mm² (4/0 AWG) por debajo del nivel de losa de concreto.

▨ EQUIPO FUTURO.

PLANTA ALTA

REVISIONES				DIBUJOS DE REFERENCIA				APROBACIONES DE PEMEX		 DIBUJO ELABORADO EN: MEXICO, D. F.	 UNAM	PLANTAS CRIOGENICAS REYNOSA 5 Y 6	
C.P.	FECHA	MCA.	DESCRIPCION	FECHA	POR	V.o.Bo.	NUM.	ING. ESPECIALISTA	FECHA			REVISOR	NUMERO DE DIBUJO:
		0	APROBADO PARA CONSTRUCCION	AGO/16	N/A	N/A	0006	ING. ESPECIALISTA			0005		
								SUPERVISION DE INGENIERIA					
								DIRECTOR DE PROYECTO					

SISTEMA DE TIERRAS

TABLA DE CONECTORES A COMPRESION DEL SISTEMA DE TIERRAS				
CARACTERISTICAS				
CLAVE	TIPO	CONDUCTOR PASO	CONDUCTOR DERIVADO	CATALOGO
(120)	YGL-C	107.2 (4/0)	107.2 (4/0)	YGL29C29
(121)	YGL-C	107.2 (4/0)	67.4 (2/0)	YGL29C29
(122)	YGL-C	67.4 (2/0)	67.4 (2/0)	YGL29C29
(123)	YGHC-C	107.2 (4/0)	126.7 (250)	YGHC29C29
(124)	YGHC-C	107.2 (4/0)	107.2 (4/0)	YGHC29C29
(125)	YGHC-C	107.2 (4/0)	67.4 (2/0)	YGHC29C26
(126)	YGHC-C	107.2 (4/0)	33.6 (2)	YGHC29C26
(127)	YGHC-C	67.4 (2/0)	67.4 (2/0)	YGHC26C26
(128)	YGHC-C	67.4 (2/0)	33.6 (2)	YGHC26C2
(129)	YGHC-C	33.6 (2)	33.6 (2)	YGHC2C2
(130)	YA	TERMINAL	126.7 (250)	YA29
(131)	YA	TERMINAL	107.2 (4/0)	YA28TC38
(132)	YA	TERMINAL	67.4 (2/0)	YA26
(133)	YA	TERMINAL	33.6 (2)	YA2C
(137)	GC	21.15 (4) - 67.4 (2/0)		GC2626
(138)	GC	EMPALME	33.6 (2)	YG52C

NOTAS GENERALES

- 1.- LAS ACOTACIONES ESTAN EN MILIMETROS.
- 2.- LA MALLA PRINCIPAL EN LAS SUBESTACIONES SE CONSTRUIRA CON CABLE DE COBRE DESNUDO, TEMPLE SEMIDURO, CON CALIBRE DE 107.2 (4/0).
- 3.- LA MALLA PRINCIPAL EN EDIFICIOS Y/O PLANTAS DE PROCESO SE CONSTRUIRA CON CABLE DE COBRE DESNUDO, TEMPLE SEMIDURO, CON CALIBRE DE 67.4 (2/0).
- 4.- PARA DETALLES DE INSTALACION DE TIERRAS VER PLANOS
- 5.- LOS CABLES ENTERRADOS SERAN INSTALADOS A UNA PROFUNDIDAD MINIMA DE 800 mm. BAJO N.P.T. o N.T.N.
- 6.- LAS COLUMNAS METALICAS SE CONECTARAN A LA MALLA DE TIERRAS ALTERNADAMENTE, LA CONEXION SERA CON ZAPATA TERMINAL A COMPRESION CANON LARGO PARA CALIBRE DE 33.6 (2).
- 7.- LAS TUBERIAS DE PROCESO EN TRAYECTORIAS PARALELAS, SERAN CONECTADAS A TIERRA, JUNTAS EN EL RACK DE TUBERIAS Y EN LA ENTRADA DE LA PLANTA DE PROCESO A INTERVALOS DE 50 m.
- 8.- EN CASO DE ENCONTRAR CIMENTACIONES EN LA TRAYECTORIA DE LA RED DE TIERRAS SE DEBERAN LIBRAR ESTAS INTERFERENCIAS RODEANDOLAS, ASI COMO LA INSTALACION DE VARILLAS QUE ESTEN SOBRE CIMENTACIONES O DUCTOS, ESTOS SE LIBRARAN TAMBIEN.
- 9.- TODOS LOS GABINETES DE ALUMBRADO, CAJAS DE CONEXIONES, CHAROLAS, CARCAZAS DE MOTORES Y BOTONERAS SE CONECTARAN A TIERRA
- 10.- LAS CONEXIONES PARA EL SISTEMA DE TIERRAS SON DEL TIPO COMPRESION IRREVERSIBLE, LAS CUALES SON INSTALADAS CON LA HERRAMIENTA TIPO MY29-3 o Y-750 (BURNDY) SEGUN CORRESPONDA.
- 11.- TODA LA INSTALACION, CUMPLIRA CON LO QUE ESTABLECEN LAS SIGUIENTES NORMAS, Y DOCUMENTOS NOM-001-SEDE-2005, NEC-ESP-L-7900-P56, ESP-L-7500-P56, GNT-SNP-G200-P56 Y NRF-048-PEMEX-2003.
- 12.- PARA RED GENERAL DE TIERRAS VER PLANO
- 13.- EL TAMAÑO NOMINAL DE LOS CONDUCTORES ESTA EN MILIMETROS CUADRADOS mm² Y ENTRE PARENTESIS SU EQUIVALENTE EN AWG, AMERICAN WIRE GAUGE O EN CIRCULAR MILS CONFORME AL ARTICULO 110.6 DE LA NOM-001-SEDE-2005.
- 14.- LA SIMBOLOGIA QUE SE INDIQUE EN CUALQUIER PLANO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE TIERRAS ES MANDATORIA SOBRE LA SIMBOLOGIA DE ESTE PLANO
- 15.- LOS REGISTROS DE PUESTA TIERRA SE INSTALARAN A NO MAS DE 30 METROS, EN EL PERIMETRO DE LA MALLA DE TIERRAS.

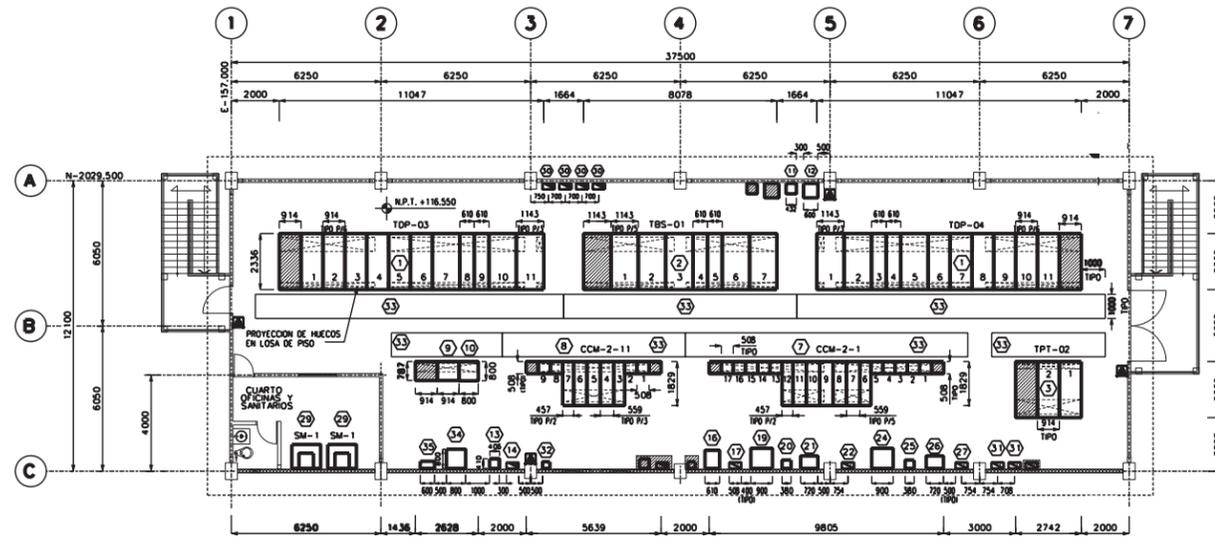
SIMBOLOGIA

- - - - -	CABLE DE COBRE DESNUDO, TEMPLE SEMIDURO TRENZADO, ENTERRADO O VISIBLE CAL 107.2 (4/0) (VER NOTA 13, TIPO)
.....	CABLE DE COBRE DESNUDO, TEMPLE SEMIDURO TRENZADO, ENTERRADO O VISIBLE, CALIBRE 67.4 (2/0).
.....	CABLE DE COBRE DESNUDO, TEMPLE SEMIDURO TRENZADO, ENTERRADO O VISIBLE CALIBRE 21.15 (2 AWG).
.....	CABLE DE COBRE DESNUDO, TEMPLE SEMIDURO TRENZADO, VISIBLE BAJO LOSA CAL 107.2 (4/0).
.....	CABLE DE COBRE DESNUDO, TEMPLE SEMIDURO TRENZADO, VISIBLE BAJO LOSA CALIBRE 67.4 (2/0).
.....	CABLE DE COBRE DESNUDO, TEMPLE SEMIDURO TRENZADO, VISIBLE BAJO LOSA CALIBRE 21.15 (2 AWG).
○	CONEXION DE CABLE A CABLE.
●	CONEXION DE VARILLA A CABLE.
x	CONEXION DE PLACA A CABLE.
⊙	TUBO DE CONCRETO, CONEXION MECANICA Y VARILLA.
.....○	CABLE DE COBRE DESNUDO QUE BAJA.
.....○	CABLE DE COBRE DESNUDO QUE SUBE.
(121) ₂	T21 INDICA TIPO DE CONEXION, (MECANICO Y/O COMPRESION) 2 INDICA LA CANTIDAD DE CONEXIONES.
Ⓢ	INDICA PREPARACION PARA CONEXION DE RACK, AUXILIAR O EQUIPO, CON CABLE DE COBRE DESNUDO CALIBRE 33.6 (2).
5 10-1-342	INDICA NUMERO DE DETALLE. INDICA NUMERO DE PLANO.

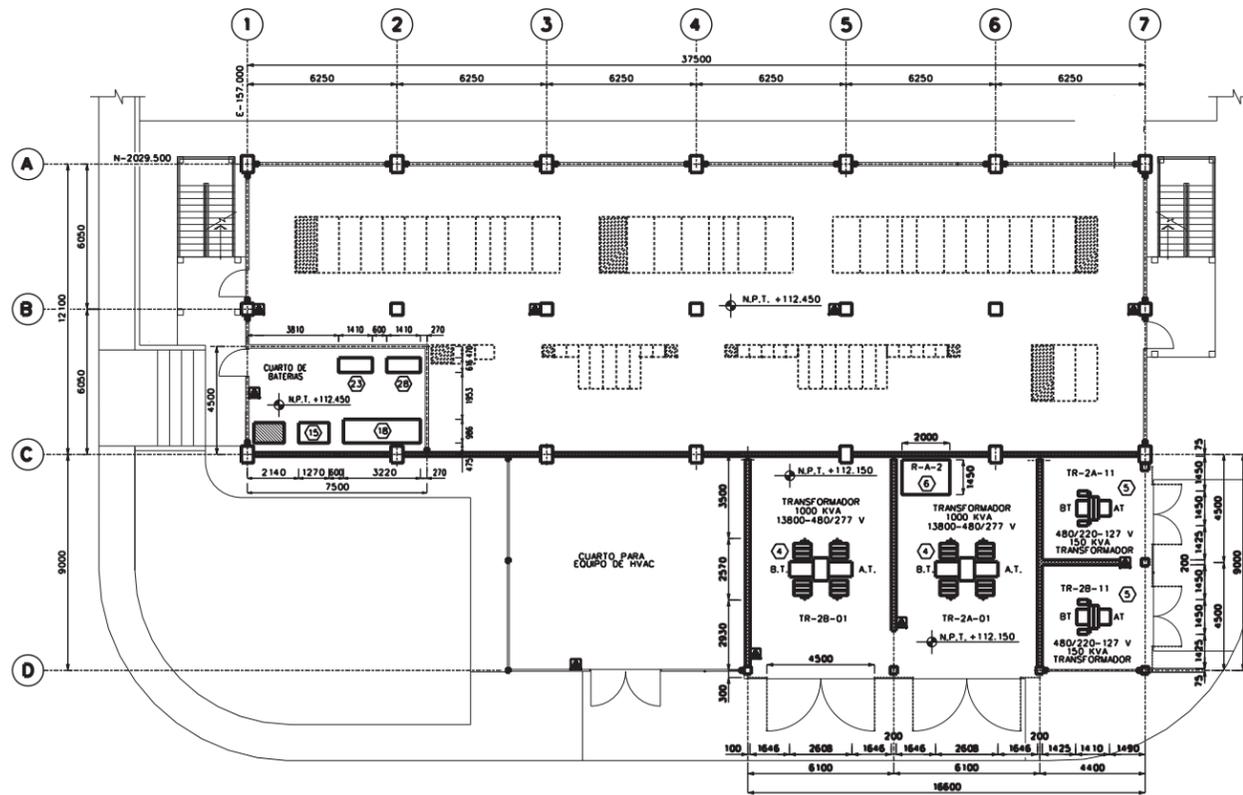
TABLA DE CONECTORES MECANICOS DEL SISTEMA DE TIERRAS				
CARACTERISTICAS				
CLAVE	TIPO	CONDUCTOR PASO	CONDUCTOR DERIVADO	CATALOGO
(134)	GK	VAR. 16-19 mm.	67.4-126.7 (2/0-250)	GK6429
(135)	GC-CT	33.6 (2)	33.6 (2) 67.4 (2/0)	GC2626CT

TABLA DE CONECTORES SOLDABLES DEL SISTEMA DE TIERRAS				
CARACTERISTICAS				
CLAVE	TIPO	CONDUCTOR PASO	CONDUCTOR DERIVADO	CATALOGO
(135)	GSTUD-HY	VAR. 6.3 mm.	33.6 (2)	GSTUD14HY

C.P. FECHA		REVISIONES			NUM. DIBUJOS DE REFERENCIA			APROBACIONES DE PEMEX		 PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BASICA <small>DIBUJO ELABORADO EN: MEXICO, D. F.</small>		 UNAM FES Aragon		DIBUJO:		PLANTAS CRIOGENICAS REYNOSA 5 Y 6 TESIS ISRAEL REYES SIMBOLOGIA Y NOTAS GENERALES RED DE TIERRAS	
MCA.	DESCRIPCION	FECHA	POR	Vo.Bo.	DETALLES DE INSTALACION RED DE TIERRAS	ING. ESPECIALISTA	FECHA	NO.	FECHA					LOCALIZACION DEL PROYECTO: REYNOSA, TAMPS.	NUMERO DE DIBUJO:		
0	APROBADO PARA CONSTRUCCION	MAR/16	N/A	N/A		N/A						0006	0				



PLANTA ALTA



PLANTA BAJA

CLAVE IDENTIFICACION	DESCRIPCION	CANT.
① TOP-03	TABLERO COMPUESTO POR 6 SECCIONES CON INTERRUPTOR EN VACIO A 15 kV Y 3 SECCIONES CON INTERRUPTOR EN VACIO A 36 kV, 3 FASES, 3 HILOS, 60 HZ. EN GABINETE PARA SERVICIO INTERIOR, METAL CLAD. PESO TOTAL APROXIMADO 12300 KG.	2
② TOP-04	TABLERO COMPUESTO POR 5 SECCIONES CON INTERRUPTOR EN VACIO A 36 kV, 3 FASES, 3 HILOS, 60 HZ. Y 1 SECCION DE SINCRONIZACION EN GABINETE PARA SERVICIO INTERIOR, METAL CLAD. PESO TOTAL APROXIMADO 7100 KG.	1
③ TPT-02	TABLERO COMPUESTO POR 2 SECCIONES CON INTERRUPTOR EN VACIO A 15 kV, 3 FASES, 3 HILOS, 60 HZ. EN GABINETE PARA SERVICIO INTERIOR, METAL CLAD. PESO TOTAL APROXIMADO 2600 KG.	1
④ TR-2A-01	TRANSFORMADOR DE POTENCIA EN ACEITE, TRIFASICO CONEXION DELTA-ESTRELLA ATERRIZADA, DE 1000 KVA, ONAN, 3F, 3A, 60 HZ, ELEVACION DE TEMPERATURA 55/65°C, RELACION DE TRANSFORMACION 13800 - 480/277 V., PESO TOTAL APROXIMADO 4857 KG.	2
⑤ TR-2B-01	TRANSFORMADOR DE POTENCIA EN ACEITE, TRIFASICO CONEXION DELTA-ESTRELLA ATERRIZADA, DE 150 KVA, ONAN, 3F, 4A, 60 HZ, ELEVACION DE TEMPERATURA 55/65°C, RELACION DE TRANSFORMACION 480-220/127 V., PESO TOTAL APROXIMADO 1575 KG.	2
⑥ R-A-2	BANCO DE RESISTENCIAS, 10 Ohms, 800 A, 10 seg.	1
⑦ CCM-2-1	CENTRO DE CONTROL DE MOTORES, SERVICIO INTERIOR NEMA-1A, 1800 A, 480 VCA, 3F, 3A, 60 HZ, CON INTERRUPTORES ELECTROMAGNETICOS PRINCIPALES Y DE ENLACE PROVISTOS CON PROTECCIONES LSG Y LOGICA PARA TRANSFERENCIA AUTOMATICA, PESO TOTAL APROXIMADO 5200 KG.	1
⑧ CCM-2-11	CENTRO DE CONTROL DE MOTORES, SERVICIO INTERIOR NEMA-1A, 600 A, 220/127 VCA, 3F, 4A, 60 HZ, CON INTERRUPTORES ELECTROMAGNETICOS PRINCIPALES Y DE ENLACE PROVISTOS CON PROTECCIONES LSG Y LOGICA PARA TRANSFERENCIA AUTOMATICA, PESO TOTAL APROXIMADO 3050 KG.	1
⑨ CCTG-3	CONSOLA DE CONTROL TURBOGENERADOR TG-3, PESO TOTAL APROXIMADO 1200 KG.	1
⑩ UTR	UNIDAD TERMINAL REMOTA	1
⑪ LR-TG-3	REACTOR DE LINEA, TURBOGENERADOR TG-3.	1
⑫ VFD-TG-3	VARIADOR DE FRECUENCIA, TURBOGENERADOR TG-3, PESO TOTAL APROXIMADO 600 KG.	1
⑬ CB-2-2	CARGADOR DE BATERIAS, TURBOGENERADOR TG-3.	1
⑭ TCD-TG-3	TABLERO DE CORRIENTE DIRECTA, SERVICIOS TURBOGENERADOR TG-3	1
⑮ BB-2-2	BANCO DE BATERIAS PARA EL CARGADOR CB-2-2	1
⑯ CB-2-1	CARGADOR DE BATERIAS, PARA INTERRUPTORES DE POTENCIA	1
⑰ TCD-2A	TABLERO DE CORRIENTE DIRECTA, PARA INTERRUPTORES DE POTENCIA	1
⑱ BB-2-1	BANCO DE BATERIAS, PARA EL CARGADOR CB-2-1	1
⑲ UPS-SCADA-2-1	UPS DE 10 kVA, DEL SISTEMA SCADA	1
⑳ BIP-SCADA-2-1	INTERRUPTOR DE BY-PASS DE UPS DEL SISTEMA SCADA	1
㉑ TR-UPS-SCADA-2-1	TRANSFORMADOR DE ASLAMIENTO DE UPS DEL SISTEMA SCADA	1
㉒ I0B-SCADA-2-1	TABLERO DE DISTRIBUCION, DE UPS DEL SISTEMA SCADA	1
㉓ BB-SCADA-2-1	BANCO DE BATERIAS, DE UPS DEL SISTEMA SCADA	1
㉔ UPS-E-2-1	UPS DE 10 kVA, PARA ALUMBRADO DE EMERGENCIA	1
㉕ BIP-E-2-1	INTERRUPTOR DE BY-PASS DE UPS PARA ALUMBRADO DE EMERGENCIA	1
㉖ TR-UPS-E-2-1	TRANSFORMADOR DE ASLAMIENTO DEL UPS PARA ALUMBRADO DE EMERGENCIA	1
㉗ IE-4	TABLERO DE DISTRIBUCION DE UPS PARA ALUMBRADO DE EMERGENCIA	1
㉘ BB-E-2-1	BANCO DE BATERIAS DEL UPS PARA ALUMBRADO DE EMERGENCIA	1
㉙ SM-1	CONSOLA DEL SISTEMA SCADA	1
㉚ IA-W, IA-U, IA-V, IA-X	TABLEROS DE ALUMBRADO, 220/127 VCA	4
㉛ IO-SP2	TABLEROS DE SERVICIOS PROPIOS SUBSTACION, 220/127 VCA	2
㉜ IO-IC3	TABLEROS DE SERVICIOS PROPIOS TURBOGENERADOR 3, 220/127 VCA	1
㉝ IMEB-XH	ARRANCADOR PARA MOTOR DE C.D. BOMBA DE LUBRICACION (1.5 HP), DEL TURBOGENERADOR TG-3	1
㉞ -	TAPETE ASLANTE DE HULE ESTRIADO, 1m. DE ANCHO, 25kV.	7
㉟ DCE-02	DISTRIBUIDOR DE CABLEADO ESTRUCTURADO	1
㊱ -	PANEL DE PARCHO DE FIBRA OPTICA SISTEMA SCADA	1

SIMBOLOGIA:

- ESPACIO PARA SECCIONES DE EQUIPOS FUTUROS.
- TABLERO DE DISTRIBUCION DE CORRIENTE DIRECTA.
- TABLERO DE DISTRIBUCION DE CORRIENTE ALTERNA.
- MURO DE CONCRETO RESISTENTE AL FUEGO.
- EXTINTOR CONTRAFUEGO ELECTRICO CO2.
- N.P.T. NIVEL DE PISO TERMINADO.

NOTAS:

- 1.- COORDENADAS Y NIVELES EN METROS, ACOTACIONES EN MILIMETROS.
- 2.- EN LA SUBSTACION ELECTRICA SE COLOCARAN LETREROS INDICANDO "TRATA DE EVACUACION".
- 3.- INCLUIR EN LAS PUERTAS DE ACCESO DE LA SUBSTACION ELECTRICA LETREROS INDICANDO "ACCESO RESTRINGIDO, SOLO PERSONAL AUTORIZADO".
- 4.- LOS EXTINTORES SE INSTALARAN A UNA ALTURA DE 1500 mm A LA PARTE CENTRAL DE ESTE SOBRE EL N.P.T.
- 5.- PARA LOS TABLEROS DE BAJA TENSION, SE DEBERA ROTULAR EN LA PARTE POSTERIOR DE CADA UNA DE LAS SECCIONES, LA IDENTIFICACION DE LA PARTE FRONTAL.
- 6.- LAS DIMENSIONES MOSTRADAS EN LOS EQUIPOS SON PRELIMINARES.

C.P.	FECHA	REVISIONES	NUM.	DETALLES DE INSTALACION	APROBACIONES DE PEMEX												
MCA.	8	APROBADO PARA CONSTRUCCION			<table border="1"> <tr> <td>ING. ESPECIALISTA</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR DE INGENIERIA</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>DIRECTOR DE PROYECTO</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td>FECHA</td> </tr> </table>	ING. ESPECIALISTA	FECHA	N/A	FECHA	SUPERVISOR DE INGENIERIA	FECHA	N/A	FECHA	DIRECTOR DE PROYECTO	FECHA	N/A	FECHA
ING. ESPECIALISTA	FECHA																
N/A	FECHA																
SUPERVISOR DE INGENIERIA	FECHA																
N/A	FECHA																
DIRECTOR DE PROYECTO	FECHA																
N/A	FECHA																



REVISOR	FECHA
SUPERVISOR	FECHA
ING. DE PROYECTO	FECHA
ING. DE PROYECTO	FECHA

PLANTAS CROGENICAS REYNOSA 5 Y 6	
TESS ISRAEL REYES	
ARREGLO DE EQUIPO	
subestacion 2 planto	
LOCALIZACION DEL PROYECTO: REYNOSA, TAMPS.	NUMERO DE DIBUJO: 0007
ESCALA: 1:100	REV: 0

CONCLUSIONES

Un sistema de puesta a tierra, su objetivo es proteger los equipos eléctricos y electrónicos, pero el objetivo principal es salvaguardar la vida humana, ya que la corriente eléctrica puede tener efectos dañinos e incluso la muerte.

Para esto, es importante conocer el valor de la resistividad del terreno para que el sistema de tierra sea realmente eficiente. El valor de la resistividad de un terreno puede variar de acuerdo a ciertos factores, así como para realizar las mediciones es importante tomar en cuenta las recomendaciones y precauciones mencionadas en este trabajo.

De acuerdo con los resultados obtenidos (en este trabajo), la red de tierras mostrada en los planos de la subestación SE-2, es la adecuada, ya que el calibre indicado es capaz de conducir a tierra la corriente máxima que pudiera presentarse en el sistema al ocurrir una falla de corto circuito a tierra.

Las longitudes del conductor y los arreglos de la malla son suficientes, ya que el área protegida por dicha red tiene un valor de resistencia menor de 5 ohm y los valores de tensión de paso y de toque calculados que se pueden presentar en la malla, son inferiores a los tolerables por el cuerpo humano.

Se concluye que, para tener un buen sistema eléctrico, se debe de diseñar un buen sistema de tierras, que de seguridad al operador (a las personas) y al cliente (para los equipos). Y para lograr un buen diseño de tierras, se puede tomar como referencia mi tesis o este trabajo y tipificarlo al proyecto que les compete.

Un sistemas de tierras no se debe de menos preciar, por el contrario, si no es el más importante en general (dentro de un sistema eléctrico) si es uno de los que más cuidado le debemos de poner, ya que al tener un sistemas de tierras, se garantiza la seguridad de las personas y un correcto funcionamiento de una planta por muchos años.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANSI / IEEE Std. 80
IEEE GUIDE FOR SAFETY IN AC SUBSTATION GROUNDING.
2. ANSI / IEEE Std. 142
IEEE RECOMMENDED PRACTICE FOR GROUNDING OF INDUSTRIAL AND
COMERCIAL POWER SYSTEM.
3. ANSI / IEEE Std. 399
GUIDE FOR SAFETY IN AC SUBSTATION GROUNDING
4. IEEE std C62.92.1
GUIDE FOR THE APPLICATION OF NEUTRAL GRPOUNDING IN ELECTRICAL
UTILITY SYSTEMS
5. IEEE std 32
STANDARD REQUIREMENTS, TERMINOLOGY, AND TEST PROCEDURE FOR
NEUTRAL GROUNDING DEVICES.
6. IEEE std 665
GUIDE FOR GENERATING STATION GROUNDING
7. DISEÑO DE SUBESTACIONES ELECTRICAS.
CURSO AMERIC A.C. (ASOCIACION MEXICANA DE EMPRESAS DEL RAMO DE
INSTALACIONES PARA LA CONSTRUCCION, A.C.)
ING. RODOLFO LORENZO BAUTISTA.
8. INDUSTRIAL POWER SYSTEMS HANDBOOK
DONALD BEEMAN
McGraw-Hill
9. EXPERIMENTOS CON EQUIPO ELECTRICO
Autor: Wildi de Vito
10. NOM-001-SEDE-2015
INSTACIONES ELECTRICAS (UTILIZACION)
11. HANDBOOK OF ELECTRIC POWER CALCULATIONS
H. WAYNE BEATY
McGraw-Hill
12. ELECTRIC POWER SUBSTATIONS ENGINEERING
JOHN D. McDonald
CRC PRESS
13. INDUSTRIAL POWER SYSTEMS
SHOAIB A. KHAN
CRC PRESS

14. ANALISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA
JOHN J. GRAINGER / WILLIAM D. STEVENSON Jr.
McGraw-Hill
15. PRINCIPLES OF ELECTRICAL GROUNDING
JOHN C. PFEIFFER
16. CFE
DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS
17. CFE-00J00-01
RECOMENDACIONES PARA EL CALCULO DE REDES DE TIERRAS EN PLANTAS Y
SUBESTACIONES ELECTRICAS
18. NRF-011-CFE-2004
SISTEMA DE TIERRAS PARA PLANTAS Y SUBESTACIONES ELECTRICAS
19. NRF-048-PEMEX
DISEÑO DE INSTALACIONES ELECTRICAS
20. NRF-070-PEMEX
SISTEMAS DE PROTECCION A TIERRA PARA INSTALACIONES PETROLERAS
21. ELECTRICAL TRAINING MANUAL
FLUOR DANIEL
22. MANUAL DEL ELECTRICISTA
VIKON (CONDUCTORES MONTERREY).
23. NFPA 70
NEC (NATIONAL ELECTRICAL CODE)
24. NFPA 70B
RECOMMENDED PRACTICE FOR ELECTRICAL EQUIPMENT MAINTENANCE
25. NFPA 70E
STANDARD FOR ELECTRICAL SAFETY REQUIREMENTS FOR EMPLOYEE
26. LIBRO DE ORO DE PUESTA A TIERRA UNIVERSAL
GROUNDING AND BONDING
JAVIER OROPEZA ANGELES